استخدام مياه الصرف الصحى فى الزراعة
معايير ومحاذير

دكتـــور
السيد أحمد الخطيب
Ph. D. University of W. Virginia (USA)
أستاذ علوم الأراضى والمياه - كلية الزراعة - جامعة الإسكندرية
والحائز على
جائزة الدولة التشجيعية فى العلوم الزراعية عام ١٩٩٣
ونوط الأمتياز من الطبقة الأولى



بسم الله الرحمن الرحيم

"أو لم ير الذين كفروا أن السموات
والأرض كانت رتقا ففتقناهما وجعلنا من
الماء كل شيء حي أفلا يؤمنون"

صدق الله العظيم

الأنبياء (٣٠)



مقدمة

نظراً لثبات حصه مياه مصر من جميع الموارد المائية ومع الزيادة المطردة فى تعداد السـكان فى مصـر فـإن الحاجة الأن أصبحت ملحه إلى تيسير موارد مائية جديدة وتعظيم الاستفادة من الموارد المائية المتاحة لسد الإحتياجات الغذائية للسكان. وتعتبر مياه الصرف الصحى المعالجة أحد الموارد المائية الهامة التى يجب العناية بها وإستخدامها خاصـة أن العديـد مـن دول العالم قد سبقونا فى هذا المضمار. من أجل ذلك أيها القـارئ الكريم فلقد قام الكاتب بإعداد هذا الكتاب بهدف الاسترشاد به فى كيفية إستخدام مياه الصرف الصحى المعالجة فى الرى الزراعى مع توضيح المخاطر الصحية والبيئية المصاحبة لإستخدام مياه الصرف الصحى غير المعالجة وتأثير ذلك على الإنتاج المحصـولى كما يهدف هذا الكتاب أيضاً إلى تشجيع تجميع ومعالجة وإستخدام مياه الصرف الصحى بطريقة آمنه بحيث يمكن الإستفادة من جميع مصادر المياه المتاحة.

ويشـتمل الكـتاب عـلى سـبعة فصول يتناول الفصل الأول منها الدورة الهيدرولوجـية للتعرف على دورة المياه الهائلة التى يتم تدويرها سنويا وذلك للحفاظ عـلى جمـيع صور المياه على الأرض. أما الفصل الثانى فيتناول المياه الطبيعية وأقسام الشـوائب بها مع ذكر خواص وصفات بعض أنواع المياه بينما يتعرض الفصل الثالث إلى فـيزياء وكيمياء الماء مع توضيح خواص الماء من ناحية الثبات الكيميائى والتحلل الأيونى ودرجة الحموضة والإتزان والتضاغط وخواص الإذابة. وفى الفصل الرابع يتم الـتعرض إلى معايير إستخدام مياه الصرف الصحى فى الزراعة شاملة العوامل الصحية والعناصـر الصـغرى والمعـادن الثقيلة والأملاح. أما الفصل الخامس فيشتمل على عمليات معالجة مياه الصرف الصحى بأنواعها ونظم المعالجة البيولوجية الطبيعية وأيضاً طرق المعالجة المتقدمة.

وفى الفصل السادس تم شرح كيفية إستخدام مياه الصرف الصحى فى الرى مع بيان كميات المياه الواجب إستخدامها وتوقيت وطرق الرى والغسيل مع شرح واف لإستيراتيجية إدارة مياه الصرف الصحى المعالجة فى الزراعة. هذا وقد أفردنا فصلا كاملاً وهو الفصل السابع لتناول إستخدام الحمأة فى الزراعة وتأثير ذلك على التربة والمحصول مع بيان المحاذير الواجب مراعاتها عند الزراعة والحصاد والرى. كما يحتوى هذا الكتاب فى نهاية كل فصل على سلسلة من المراجع التى قد يحتاجها القارئ المتخصص للإستزادة والإستفاضة من بعض المعلومات الخاصة بكل فصل.

وتأتى أهمية هذا الكتاب فى كونة يملأ فراغا كبيراً فى المكتبات العربية ويلبى حاجة القائمين بأعمال التخطيط الزراعى والباحثين والطلاب والمشتغلين بكافة مجالات الزراعة على أمتداد وطننا العربى الكبير.

أسأل الله أن يتحقق الهدف المنشود من تأليف هذا الكتاب وأن يجد منه القراء على أختلاف إهتماماتهم العون والفائدة.

والله ولى التوفيق ...

أ.د / السيد أحمد الخطيب

الإسكندرية

المحتويات

الموضوع	الصفحة

الموضوع	الصفحة

الموضوع	الصفحة

الموضوع	الصفحة

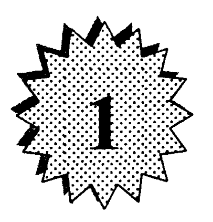
الموضوع	الصفحة

الفصل الأول

الدورة الهيدرولوجية

- ❖ الغلاف المائى
- ❖ الدورة الهيدرولوجية
- ❖ الماء والكائنات الحيه
- ❖ الاستهلاك المائى (الحاضر والمستقبل)





الدورة الهيدرولوجية

الحقـــيقة المعـــروفة أن تواجد الماء سبق تواجد الحياة على كوكب الأرض وأن جمـــيع العمليات الكيمائية المتعلقة بتطور صور الحياة والمحافظة عليها يشارك فيها الماء بصـــورة أساسيه ولذلك فيعتبر الماء أساس الحياة جيث يعمل الماء على نقل المغذيات والعناصر الضرورية للحياة إلى الكائن الحى.

ولأن الماء يعتبر أهم المصادر الطبيعية على الأطلاق فالكثير من الجهد يبذل الآن لـــلحفاظ عليه وإدارته وذلك للدور الهام الذى يلعبه الماء فى الحفاظ على الحياة نتيجة للخواص الفيزيائية الفريدة التى يمتلكها. وللدلاله على انفراد الماء بخواص فيزيائية غير عاديـــه ضرورية للعمليات الكيموحيويه فى الكائنات الحية هو أن محاولة إحلال الماء الثقيل D_2O المشابه للماء فى تركيبه الكيميائى والفيزيائى مع اختلاف بسيط ناتج عن وزن ذرة هـــيدروجين إضـــافية أدى إلى نتـــيجة عكسية وهى تسمم الكائنات الحية ونتـــيجة الصـــلة الوثيقة بين الماء والحياة فإن الحاجة ملحه إلى مصادر مستمرة للماء الصالح للاستهلاك الآدمى.

ولمـــا كان الماء مذيب قوى للغاية فإن إزالة المواد الذائبة فيه تصبح عملية صعبه خاصة أن بعض الصناعات مثل الصناعات الدوائية تتطلب استخدام مياه ذات درجة نقـــاء عالـــية وتمـــثل إزالة المواد العضوية وغير العضوية الموجودة فى الماء بتركيزات

منخفضة مشكلة معقدة.

وللدلالـــه عـــلى قـــدرة عمل الماء كمذيب فإنه من الضرورى دراسة العناصر الموجـــودة فى مـــاء البحر وهى تشمل الكلور (19000 جزء فى المليون) والصوديوم (10500 جزء فى المليون) والزئبق والفضة والذهب واليزموث بمستويات صغيرة تصل إلى (0.001 جزء فى المليون) كما يوجد فى مياه البحار بعض العناصر بمستوى أقل من ذلك مثل الكروم والزركون والبلاتين.

أ. الغلاف المائى Hydro sphere

إن نشـــأة المياه فى الغلاف الجوى وتكثفه على سطح الكره الأرضية مازال غير واضـــحا فمـــن المؤكد أن كميات المياه الموجودة الآن فى الكره الأرضية لا يمكن أن تكـــون منشـــأها كلية الغلاف الجوى. والحقيقة أن هناك بعض الشواهد الدالة على حـــدوث تفـــاعل بين الغلاف المائى والغلاف الجوى فى عصور ما قبل التاريخ حيث يعتبر نحر الصخور والترسيبات لبعض أنواع الرسوبيات دلاله على ذلك.

ومـــن المحتمل ظهور الأكسجين فى الغلاف الجوى أولا كنتيجة لتحلل بخار الماء عند تعرضه للأشعة فوق البنفسجية كما أن كميات صغيرة من ثانى أكسيد الكربون قد تنشأ من تحلل المعادن بواسطة حمض الكربونيك والتى بدورها تتحول إلى أكسجين عن طريق التمثيل الضوئى بواسطة النبات. وتدل الحسابات على أن إنتاج الأكسجين بواســـطة النبات يصل إلى 10^{11} طن وحوالى 99% من هذه الكمية يتم استهلاكها بواسطة الحيوانات فى عملية الأكسدة الحيوية للغذاء. ومن المعروف أن الشخص البالغ يحتاج $500\ \ell$ من الأكسجين فى اليوم.

ومـــن الجديـــر بالذكر أن الأكسجين الناتج فى الغلاف الجوى يتم استهلاكه (90% تستخدم فى تحلل المعادن) ويتبقى فقط حوالى 0.00044% فى الغلاف الجوى أى أن حوالى 5×10^{7} kg من الأكسجين يبقى فى الهواء الجوى فإذا افترضنا أن أبسط مظاهـــر الحـــياة تحتاج إلى مياه لتطورها فإننا نستنتج أن الماء قد تواجد على الأرض

وحولها منذ نشأتها.

المحيطات: مخازن الماء والطاقة

تعتبر المحيطات أحد المخازن الهامة للماء والتى لها بالتالى الأثر الكبير على الظروف المناخية وبالتالى على هطول الأمطار. ونتيجة للحرارة النوعية العالية وغير العادية للماء فإن المحيطات تعتبر من أهم مخازن الطاقة فالتيارات الدافئة تفقد حرارتها وتنقلها إلى كل ما يحيطها وبالتالى تضمن ثبات المناخ إلى حد ما. وعلى سبيل المثال فإن الحرارة المفقودة من مياه الخليج إلى شمال غرب أوروبا تصل إلى 4×10^{15} kj/h وهو ما يعادل الحرارة الناجمة من حرق 40 مليون طن فحم.

أيضا تعتبر المحيطات غنية بالمعادن كما أنها تمثل مكان لحياة الأسماك البحرية والتى تمثل مصدراً هاماً لغذاء الإنسان.

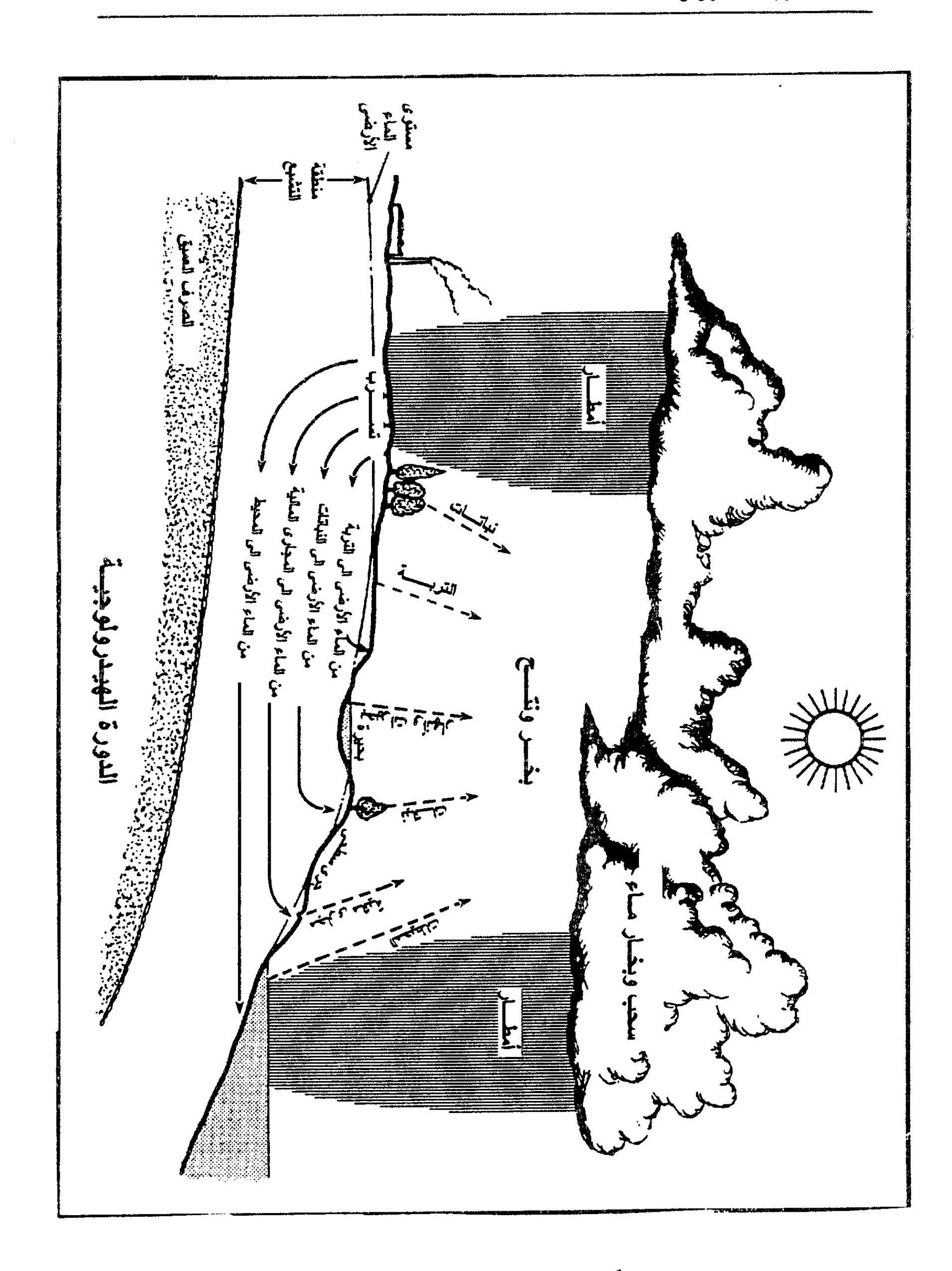
ب. الدورة الهيدرولوجية

يطلق على دورة المياه نتيجة البخر من الغلاف المائى إلى الغلاف الجوى وما يبعه من ترسيب إلى الغلاف المائى باسم الدورة الهيدرولوجية (شكل 1-1).

محتوى الماء الكلى للغلاف المائى يصل إلى 6×10^{8} $ha\ m^{-}$ ولما كانت كمية الأمطار الكلية تصل إلى 225×10^{8} $ha\ m^{+}$ فهذا يعنى أن الماء فى الغلاف الجوى يتم تدويره حوالى 37 مره كل عام . ويعادل مستوى الأمطار عمق 0.5 متر ماء يغطى سطح الكرة الأرضية.

($ha{-}m^{+}$ هو عبارة عن حجم الماء الذى سوف يغطى مساحة ١هكتار إلى عمق ١ متر $ha\ m = 10000\ m^{3}$).

وعلى الرغم من أن الدورة الهيدرولوجية هى عملية متصلة فإن وصف هذه الدورة عادة يبدأ من المحيطات التى تغطى حوالى 71% من سطح الكرة الأرضية. فنتيجة لدرجة حرارة الشمس يحدث بخر للماء من المحيطات وغالبا ما يكون بخار الماء غير



شكل رقم 1-1 . الدورة الهيدرولوجية.

مـــرئى ولكـــن تحت ظروف فوق التشبع يحدث تكون للسحب وتحت تأثير تغيرات خاصـــة فى درجـــة الحرارة والضغط يحدث تكثف للرطوبة وتعود إلى الكرة الأرضية على شكل أمطار وبرد وثلوج.

١. الهطـــول Precipitation

التعبير عن متوسط سقوط الأمطار بما يعادل 0.5m مثلا هو تعبير غير دقيق لأن سقوط الأمطار على سطح الكرة الأرضية يكون غير متجانس وغير منتظم فى الزمان والمكـــان فمعظـــم الأمطـــار الساقطة تعود مباشرة إلى المحيطات والباقى يسقط على الأراضى من الهواء الساخن الرطب نتيجة لأحد العمليات الثلاثة التالية.

Cyclonic (i)

الكـــتلة الهوائـــية الساخنة – وهى تكون اما ثابتة أو متحركة حركة أفقية – المضادة لكتلة الهواء البارد.

Convectional (ii)

كتلة الهواء – التى تتلقى حرارة وبخار ماء على سطح الأرض – التى تبرد وذلك عند ارتفاعها رأسيا.

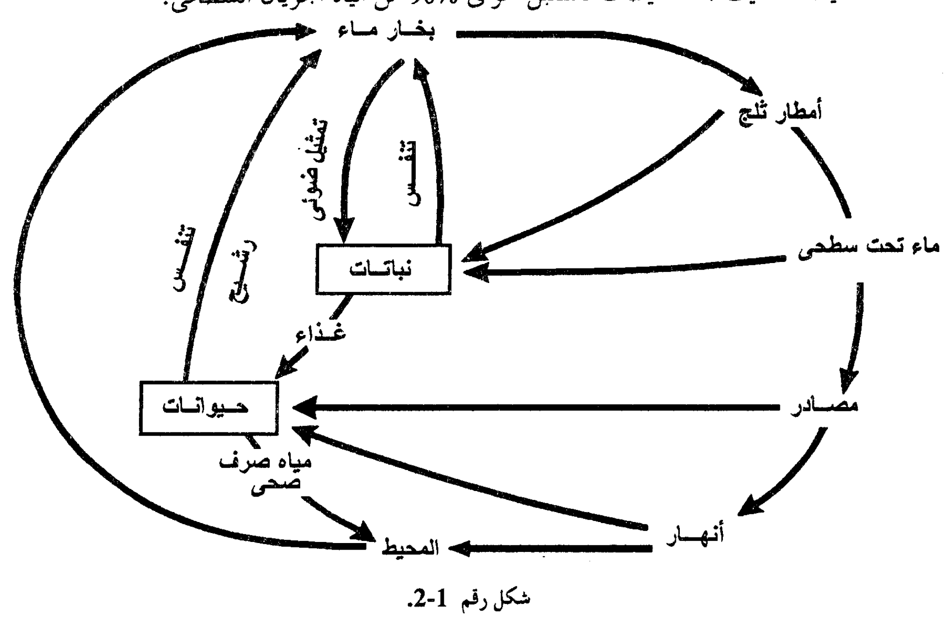
In mountain regions (iii)

كـــتلة الهواء الساخن المتحركة تجبر على الارتفاع وفقد حرارة عندما تصطدم بالجبال.

تسقط الأمطار بطريقة غير منتظمة تبعا للمواقع الجغرافية حيث تستقبل المناطق الساحلية قدراً أكبر من الأمطار. وحوالى 70% من متوسط الأمطار الكلية يحدث لها بخـــر والـــباقى يظهر كماء على السطح أو تحت سطح الأرض وبخر الماء يكون إما مباشـــرة مـــن المســـطحات المائية أو من خلال النبات عن طريق النتح من الأوراق والسيقان ويمثل البخر من خلال الغطاء النباتى نسبة كبيرة جداً من البخر الكلى.

ويطلـــق عـــلى 30% من الماء الذى لا يعود ثانية إلى الغلاف الجوى باسم ما:

الجـــريان السطحى water runoff ويمثل مصادر الماء المتاحة لكل منطقة (والواقع أن المصادر الكلية للماء العذب التى تشترك فى الدورة الهيدرولوجية لا تزيد عن 0.003% بينما الباقى يتركز فى الغطاء الجليدى) ويتجمع ماء الجريان السطحى فى المجارى المائية وإن كـــان الجزء الأكبر منه يخترق سطح التربة ويتجمع فوق الطبقات غير المنفذة فى الـــتربة. فقوى الجاذبية تدفع بالماء إلى أسفل من خلال مسام التربة وبمرور الزمن قد يظهــــر الماء على السطح على شكل عيون springs أو يذهب أسفل مستوى سطح الـــبحر ثانـــية إلى المحيطات . فجزء كبير من المياه الجوفية تصل إلى المجارى السطحية وتمدهـــا بالمـــياه خلال فترات الجفاف. أيضا المجارى المائية والأنهار تتدفق مياهها إلى المحيطات حيث نجد المحيطات تستقبل حوالى 90% من مياه الجريان السطحى.



شكل رقم 1-2.

٢. الماء الجوفى Ground water

يلقى الماء الجوفى اهتماما متزايدا لأنه مصدر من المصادر الهامة للماء فى الوقت الحاضر. ومن العجيب معرفة أن المياه السطحية فى المجارى المائية والبحيرات تمثل أقل

مـــن 3% مـــن الماء العذب المتاح ولكن نتيجة المشاريع المائية الضخمة فأننا نميل إلى التفكير فى المياه السطحية بأنها أهم مصادر المياه المتاحة. والواقع أن المياه الجوفية تمثل مصـــدراً هامـــاً للمياه لا يمكن إغفاله. فالمياه الجوفية تمثل حوالى 40%-33 من مياه الجـــريان السطحى الكلية. وقد تكون أكبر من ذلك بكثير فى بعض المناطق علماً بأن جـــزء من المياه الجوفية قد لا يكون متاحا نتيجة لاعتبارات اقتصادية ولذلك فيجب الإشـــارة إلى أن خمـــس ولايـــــات فى الولايات المتحدة الأمريكية (أركنساس، أريـــزونا، مسيســـيى، نيوميكسيكو، جنوب داكوتا) تعتمد على المياه الجوفية لتلبية نصـــف احتـــياجاتها المائية فى حين أن كاليفورنيا وتكساس تأخذ حوالى 25% من احتياجاتها المائية من المياه الجوفية. أيضا بعض المناطق مثل مقاطعة أونتاريو بكندا على الـــرغم مـــن توفر المياه السطحية بها (بحيرات-أنهار) تحصل على احتياجاتها من المياه للشرب والصناعة من المياه الجوفية وذلك لاعتبارات اقتصادية.

٣. الـــــرى Irrigation

يعتـــبر الماء الجوفى حيوى وهام فى المناطق الجافة وشبه الجافة حيث يعتمد عدد كـــبير من سكان هذه المناطق على الزراعة فى معيشتهم. فعلى سبيل المثال فى منطقة مـــثل الهند أكثر من 90% من الماء الكلى المستهلك يتم استخدامه فى رى الحاصلات الزراعـــية وذلك لمحدودية سقوط الأمطار. فالزراعات الكثيفة الناجحة فى هذه المناطق لا يمكن أن تتم بدون استخدام الرى.

وفى الـــثلاثين سنة الأخيرة تم مضاعفة المساحة المروية حيث يساهم الماء الجوفى بحوالى 40% من الماء المستخدم فى الرى . ويوضح الجدول رقـــم (1-1) مصادر المياه الجوفية فى الهند فنجد أن مصادر الماء السطحى المتاح تقدر بحوالى 64 million ha m.

جدول 1-1. مصادر المياه الجوفية فى الهند (123000 ha m)

حاليـــــا	الموجودة حاليا	المتوقعة مستقبليا
الأمطار	49	49
التسرب من القنوات ونظم الرى	10	24
تسرب من الأنهار	3	8
المجموع	62	81

وبينما تعتبر الأمطار هى المصدر الرئيسى للمياه الجوفية فإن تسرب الماء وتخزينها تحـــت سطح التربة يتوقف أساسا على التراكيب الجيولوجية للمناطق التى يتجمع فيها المياه الجوفية.

٤. استخدام الأراضى

كمـــية ونوعـــية المـــياه الجوفية يرتبط ارتباطا وثيقا بالكيفية التى تستخدم فيها الأراضـــى فمن الوسائل التى تحافظ على نوعية وكمية المياه الجوفية هو خفض جريان المـــاء والتعرية فمثلا وجد فى الولايات المتحدة أن زراعة الأراضى بالحشائش ورعى الحـــيوانات فـــيها خفضت الجريان المائى والترسيب بحوالى 95% بينما تحويل الغطاء النـــباتى من شجيرات إلى حشائش أدى إلى خفض التعريه بمقدار 14 ضعف دون أن يؤثر ذلك على كمية المياه المستهلكة.

٥. دراسة العوامل البيئية

العلاقة الوثيقة بين علوم المناخ والجيولوجيا والزراعة يتم الآن دراستها باستخدام الـــنماذج الرياضية وللأسف فإن فهمنا لنظام الأرض-المناخ-المحصول مازال ضعيفا. فعـــلى سبيل المثال فإنه معلوم لدينا أن نمو النبات يعتمد اعتمادا كبيرا على الإشعاع الشمســـى فى حين أن العلاقة بين العوامل البيئية والتنفس ونمو الأوراق وتوزيع المادة الجافة غير معروف تماما.

ويوجـــد الآن كـــثير من النماذج الرياضية تم تطويرها باستخدام عوامل المناخ كمدخـــلات فيها والحقيقة أن هذه النماذج غير دقيقة وما هى إلا عبارة عن وصف لكمية المحصول كداله للمناخ فمثلا فى المناطق الاستوائية فإن الماء لا يكون عامل محدد للـــنمو لتوافر الأمطار ولكن تحت الظروف الجافة فإن عدم سقوط الأمطار يمكن أن يـــؤدى إلى عـــدم نمو المحصول ولكننا لا نستطيع القول أن المحصول هو داله للهطول المستمر للأمطار.

ج. الماء والكائنات الحية (الدورات المائية البيولوجية)

The biological water cycles

الدور الفريد للماء الذى يلعبه فى النمو والمحافظة على الحياة معروف تماما. فمن خـلال الـدورة الهيدرولوجية يمكننا التعرف على دورة المياه الهائلة التى يتم تدويرها سـنويا بواسطة التمثيل الضوئى والنتح فى النبات. والآن سوف نفحص الميزان المائى Water balance فى الإنسـان الـبالغ والذى يصل إلى 2.5 kg كما هو موضح فى جدول (2-1).

جدول 2-1. الميزان المائى اليومى للإنسان البالغ مقدراً بالكيلو جرام

	المتحصل عليه		الفـاقـد
شراب	1.3	عرق	0.4
غذاء	0.9	بخـر	0.5
أكسدة الغذاء	0.3	إخـراج	1.6
	2.5		2.5

فـنجد أن 2.5kg تمـثل حـوالى 4% من الوزن الكلى للإنسان على المستوى الجزيـئى فإن الماء المخلق نتيجة احتراق الغذاء (الكربوهيدرات) له دلاله هامة حيث يمكن تمثيل العمليات الكيميائية عن طريق أكسدة كاملة للجلوكوز لينتج ثانى أكسيد الكربون والماء. أى أن كل جزىء جرام (180g) من الجلوكـــوز.

$$C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2 = 6CO_2 + 6H_2O$$

ماء ثانى أكسيد الكربون أكسجين جلكوز

يتأكسـد وينـتج 6 جزىء جرام (108g) ماء. ويوضح الجدول السابق تكون 300g مـاء يومـيا (حوالى 17 جزىء جرام) ولذلك فلكى تصف المعادلة الاحتراق اليومى للكربوهيدرات يجب ضرب طرفى المعادلة × 3 وتخليق 300g من الماء بواسطة الميكانيكـية السابق ذكرها يكون مصحوبا بانطلاق طاقة قدرها 7600 kj فإذا فرض أن هـذه الطاقـة سوف تنطلق إلى جسم الإنسان فى صورة حرارة فإنها كفيلة برفع

درجة حرارة الجسم 26°C.

والمعادلـــة الســـابق ذكـــرها توضح فقط المواد الداخلة فى التفاعل والناتجة منه والحقيقة أنه تم التعرف على ١٤ مرحلة تمر خلالها أكسدة الجلوكوز وكل مرحلة يتم الـــتحكم فـــيها بواسطة إنزيمات خاصة ويلعب الماء دوراً هاماً فى كل مرحلة. معدل التفاعلات التى تتحكم فى العمليات الفسيولوجية والحيوية تتوقف بدرجة كبيرة على الخـــواص الفيزيائـــية لـــلماء عند درجة حرارة الجسم. ولذلك فإن أى تغيير فى هذه الخواص مثل إحلال الماء الثقيل محل الماء العادى يمكن أن يسبب فى ازدواج التفاعلات الكيميائية مما يؤثر بطريقة سلبية على حيوية الكائن الحى.

١. إنتقال الماء خلال أجسام الكائنات الحية

معـــرفة كميات المياه الداخلة فى التفاعلات الحيوية يمكن أن يمدنا بمعلومات عن معدل انتقال الماء خلال أجسام الكائنات الحية. وبالعودة إلى المعادلة التى تمثل أكسدة الغـــذاء نجـــد أن 300g من الماء المنتج يحتاج إلى 185 ℓ من الأكسجين وهى تعادل الكمـــية الـــتى تستخلصها الرئة من الهواء بكفاءة تعادل 14% (الاحتياجات اليومية الكلـــية للجســـم من الأكسجين تقارب 500L). ولما كان الهواء يحتوى على 21% أكســـجين فـــإن الرئة تستهلك 6300L من الهواء يوميا لكى تستخلص احتياجات الإنســـان الضرورية من الأكسجين الذى لا يلبث أن يذهب إلى خلايا الأنسجة من خـــلال سريان الدم. ونتيجة للذائبيه الضعيفة جداً للأكسجين فى الماء فإن الأكسجين يتم انتقاله بواسطة البروتين الناقل (الهيموجلوبين) الذى يقوم أيضا بإزالة ثانى أكسيد الكربون. كما أن ضغط الدم فى الأورطى يكون عالى بدرجة تسمح بنظام تنقية كفؤ (Ultrafiltration) وأيضا يعمل على انتقال الماء والأيونات ذات الوزن الجزئى الصغير خـــلال أغشـــية الخلايا. والحقيقة أن ضغط الدم ينخفض فى الأوعية الدموية ويصبح الضـــغط الأسمـــوزى للـــبلازما أعلى من ضغط الدم مما يؤدى إلى مرور السوائل فى الأنســـجة و بالتالى يتم إمداد الخلايا بالمركبات التى فى حاجة إليها. ولإمداد الخلايا

بالأكسجين الكافي لاحتياجاتها الضرورية لحرق الجلوكوز يجب على القلب أن يضخ 7000L دم حول الأوعية الدموية.

٢. الإتزان المائي الفسيولوجي Physiological Water Blance

بعـــض أعضـــاء جسم الإنسان لها المقدرة على الحفاظ على نوعية المياه واتزانها الفســـيولوجي. فالكليتين تنتج 180L من البول المخفف الذي يتم تركيزه إلى 1.5L وإخراجه من الجسم.

محـــتوى الجســـم من الماء والذي يبلغ (40L) والذي يمثل 60% من وزن جسم الإنسان البالغ لا يكون موزعا بالجسم بطريقة متساوية فبعض أعضاء الجسم مثل المخ والعضلات تحتوي على كمية أكبر من الماء بالمقارنة بالأعضاء الأخرى للجسم.

وحوالي ثلثي ماء الجسم يكون موجودا داخل الخلايا بينما الثلث الأخر يتواجد خـــارج الخلايـــا وتشارك في الدورات المختلفة في الجسم انتقال الماء من وإلى خلايا الجســـم يـــتم التحكم فيها أساسا بميكانيكيات أسموزيه. والمعلومات الهامة التي يجب معرفـــتها هي الحد الأدنى من الماء الذي تحتاجه الخلايا لاستمرار الحياة حيث أن هذه المعلومـــات تكون ضرورية تحت ظروف الجفاف والبرد الشديدين. ومن المدهش أن نعلم أن جزء من مياه الخلايا تقاوم التجمد حتى تحت درجات حرارة أقل من الصفر.

٣. الماء كموطن لبعض الكائنات الحية Water As Habitat

النباتات والحيوانات التي تعيش في الماء لا تعاني من مشاكل نقاء الماء. بالإضافة إلى أن الحـــرارة النوعـــية لـــلماء تضمن مناخ ثابت لمعيشة الكائنات الحية في الأنهار الـــبحيرات والمحيطات . فالكائنات الحية التي تعيش في المحيطات تكون في حالة عدم اتـــزان أسموزي وبالتالي فإن مصادر الطاقة الحيوية يجب توجيهها للحفاظ على سوائل الجســـم تحت أي ضغط أسموزي . فمعظم الأسماك العظمية لها المقدرة على شرب ماء البحر وإخراج الملح الزائد. وفي نفس الوقت فإنها تعمل على إخراج البول فقط عندما يكـــون الاتـــزان الأسموزي في الجسم موجود وبالتالي تتخلص من الأملاح في الوقت

المناسب.

بعض النباتات لها المقدرة على تحمل التركيزات العالية من الأملاح والعلاقة بين نمـو النـبات وامتصاص الأيونات وتجميعها وأهمية هذه العمليات فى تحمل النباتات للملوحة مازالت غير مفهومه تماما ويجب دراسة هذه العوامل تفصيليا مستقبلا.

د. الاستهلاك المائى (الحاضر والمستقبل)

قـيل الكـثير عن الاحتياجات المائية والاستهلاك المائى على المستوى القومى والعـالى وذلـك باسـتخدام المتوسـطات الاسـتهلاكية العالمـية والمحلـية والتى لا تعطى صورة واضحة تماماً.

فمن الملاحظ أن استهلاك الفرد للماء فى أوربا (1900) قدر بحوالى 230l/day وهذا الاستهلاك لم يتغير منذ الإمبراطورية الرومانية القديمة أما فى سنة 2000 فالوضع تغير تماماً نتيجة ازدياد السكان والتقدم الصناعى الهائل. حيث يزيد الاستهلاك المائى فى البلاد الصناعية المتقدمة بمقدار 2-3% سنويا نتيجة التقدم الصناعى فى هذه الدول . مما ينبئ بعدم كفاية الموارد المائية الطبيعية فى المستقبل وفى الوقت نفسه يمكن اعتبار أن الموارد المائية الطبيعية غير محدودة للأسباب التالية:

١ - كميات المياه المستهلكة Consumptive يطلق عليها هذا الاسم وذلك لعدم توفر الوسائل القادرة على تنقية وإعادة استخدام هذه المياه.

٢- الـبخر-نتح يعتبر هو المسئول الرئيسى عن جزء كبير من المياه المستهلكة ولذلك فـإن السيطرة على النباتات المحبة للمياه والنامية على ضفاف الأنهار أدى بالفعل إلى خفـض كمـيات المـياه المفقودة. ويمكن عمل الكثير فى هذا المضمار مثل التحكم فى البخر-نتح عن طريق استخدام المحاصيل المقاومة للجفاف.

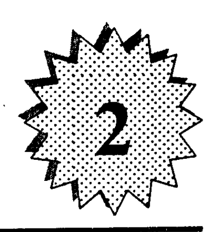
٣- تحسين وسائل الرى. يمكن أن يخفض من كميات المياه المفقودة.

٤- تحويل مياه البحر إلى مياه عذبة هى عملية مكلفة حاليا ولكن بتقدم التكنولوجيا يمكن التغلب على ذلك مستقبلاً.

الفصل الثانى

الميـــاه الطــبيعية

- ❖ مستويات الشوائب وأقسامها
- ❖ خواص بعض أنواع المياه الطبيعية
  - مياه الآبار
  - المياة السطحية
  - مياه الصرف الصحى
  - مياه المناطق الجافة
  - مياه الصرف الصناعى
  - المياه فى المناطق الاستوائية
  - المياه المالحة
- ❖ عمليات المعالجة



المياه الطبيعيـــة

Natural Waters

أوضـــحنا فى الفصل السابق أن الماء هو مادة غير عادية تمتلك كثير من الصفات الـــتى تجعــلها مختلفة تماما عن المركبات الكيميائية. فعندما يتم معالجة الماء أو تنقيته فالحقـــيقة أننا نهتم بإزالة الشوائب من الماء وليس تنقية الماء ذاته. فخواص الماء تعتبر أساسية لعمليات المعالجة ونحن نهتم فقط بطبيعة الشوائب والملوثات الموجودة فى الماء.

مستويات الشوائب Impurity levels

تشمل الشوائب الموجودة فى الماء العديد من المواد والتى تتواجد بعد إزالة المواد غير الذائبة بتركيزات منخفضة جدا لدرجة أن هذه التركيزات يمكن إهمالها عند إنتاج الكـــيماويات بمعـــنى آخر أن الماء الطبيعى قبل معالجته يعتبر ذو درجة نقاء أعلى من المواد الكيميائية النقية التى يتم إنتاجها ماعدا فى حالة واحدة فقط وهى مياه البحر التى تحـــتوى عـــلى شوائب بتركيزات عالية. ويمكن توضيح ذلك بمثال: تركيز الأملاح الكلية الذائبة فى الماء الخام نادرا ما يزيد عن 500 جزء فى المليون والذى يمثل 0.05%. وبمقارنـــة هذه الدرجة من التلوث مع أى مادة كيميائية خام نقية مثل الحجر الجيرى الذى يحتوى على 4% شوائب أو الكيماويات فائقة النقاء والتى تستخدم فى الأبحاث والكيمـــياء التحليلـــية مـــثل كلوريد الصوديوم الذى يحتوى على 0.07% شوائب أوهيدروكســـيد الصـــوديوم الـــذى يحتوى 1% شوائب يتضح مدى صوب القول

السابق.

أقسام الشوائب فى المياه الطبيعية

يوضح الجدول (1-2) أقسام الشوائب التى تتواجد فى مصادر المياه الطبيعية المختلفة والواقع أن وجود مواد وشوائب مختلفة فى المياه الطبيعية بتركيزات منخفضة قد يؤدى إلى مشاكل صحية. والحقيقة أن الجدول (2.1) لا يوضح الشوائب كلها بالتفصيل وانما يوضح مجموعات الشوائب التى يمكن إزالتها عن طريق عملية معالجة واحدة أو مجموعة من العمليات المتتابعة. والجدول رقم (2.2) يوضح مكونات المياه العذبة وغير العذبة brackish وذلك فى ترتيب متزايد ويوضح العمود الأخير فى قسم المياه الصالحة للشرب الحد الأقصى الذى يمكن استخدامه لتكون المياه صالحة للشرب وذلك بالنسبة لخاصية واحدة فقط فإذا كان الماء له خاصيتين تصل محتواها إلى الحد الأقصى يصبح الماء غير صالح للشرب.

وعند التعامل مع مشكلة خاصة بالمياه يمكن اتباع ما يلى:

١. إبحث عن القسم الذى يقع تحته الملوث المعين.

٢. تأكد من .T.D.S للمياه الخام.

٣. تحديد درجة النقاوة المرغوبة.

وباستخدام هذه الخطوات يمكن تحديد عمليات المعالجة المرغوبة. ونادرا ما يتم استخدام عملية معالجة واحدة فأغلب مشاريع معالجة المياه تتكون من مجموعة من العمليات المتتابعة والتى فى مجموعها تمثل نظام التنقية للماء.

خواص بعض أنواع المياه:

يوضح الجدول رقم (1-2) أقسام الشوائب المعلقة والذائبة فى المياه الطبيعية ومعرفة أنواع الشوائب يمكننا من النظر إلى النمط الذى يمكن أن تتواجد عليه الملوثات فى أنواع مختلفة من الماء وبالتالى تستطيع تقرير العمليات الممكن استخدامها

لتنقية هذه المياه جدول (2-3).

الملوثـــات فى أنـــواع مختلفة من الماء وبالتالى تستطيع تقرير العمليات الممكن استخدامها لتنقية هذه المياه جدول (2 - 3).

جدول 2-2 . تركيز الشوائب الموجودة فى المياه الطبيعية.

تكـــون المياه صالحة للشرب عندما يصل تركيز خاصية واحدة فقط إلى مستوى العمود الأخير فى قســـم المـــياه الصـــالحة للشرب أما إذا كان الماء يحتوى على مثل هذا التركيز (العمود الأخير) لخاصيتين أو أكثر فيصبح الماء غير صالح للشرب (العمود الأخير يمثل أقصى تركيز يمكن تحمله ليكون الماء صالح للشرب وذلك لخاصية واحدة فقط).

Conductivity	(a)	220	300	400	540	740	1000	1360	1840	2500	3400	4600
TDS	(b)	110	150	200	270	370	500	680	920	1250	1700	2300
pH	(c)	7,5	7,6	7,8	8,0	8,2	8,5	8,8	9,1	9,5	10,0	10,8
	(c)	7,5	7,4	7,3	7,2	7,1	7,0	6,7	6,4	6,0	5,6	5,0
Total suspended solids	(b)	0,01	0,025	0,05	0,1	0,25	0,5	1	2,5	5	10	25
FILTAC-Index	(d)	3	4	5	7	11	15	40	80	120	200	500
Turbidity	(e)	0,04	0,06	0,1	0,15	0,4	1,0	2,7	7,5	20	55	150
Organics	(f)	0,3	0,6	1	1,7	3,0	5	9	14	25	36	56
PAH	(g)	0,003	0,006	0,01	0,02	0,03	0,05	0,09	0,14	0,25	0,36	0,56
Mineral oils	(g)	0.4	1	2	4	10	20	40	100	200	400	1000
Index ± $CaCO_3$	(c)	0,0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5	0,7	1,0
SiO_2	(b)	3	5	7	10	15	20	27	37	50	70	100
Fe	(g)	12	20	36	56	100	180	280	500	850	1400	2400
Mn	(g)	2,4	4	7	12	20	36	56	100	170	300	500
Ca	(h)	0,4	0,64	1	1,6	2,5	4	6,4	10	16	25	40
Mg	(h)	0,3	0,5	0,8	1,2	1,9	3	5	8	12	19	30
Ca + Mg	(h)	0,4	0,64	1	1,6	2,5	4	6,4	10	16	25	40
Na + K	(h)	0,03	0,06	0,12	0,3	0,6	1,2	3	6	12	30	60
HCO_3	(h)	0,2	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20
Cl	(h)	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5	1	2	5	10	20	50
SO_4	(h)	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5	1	2	5	10	20	50
NO_3	(h)	0,04	0,06	0,1	0,16	0,25	0,4	0,64	1	1,6	2,5	4,0
Cl + SO_4 + NO_3	(h)	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5	1	2	5	10	20	50
Al	(g)	3,6	5,6	10	18	28	50	90	140	250	430	750
Ag	(g)	3,6	5,6	10	18	28	50	90	140	250	430	750
As	(g)	0,4	1	2	4	10	20	40	100	200	400	1000
Ba	(g)	2	5	10	20	50	100	200	500	1000	2000	5000
Cd	(g)	0,2	0.36	0,56	1	1,8	2,8	5	9	14	25	43
CN	(g)	0,1	0,2	0,5	1	2	5	10	20	50	100	200
Cr	(g)	0,7	1,2	2	3,6	5,6	10	18	28	50	85	140
Cu	(g)	2,5	5	10	25	50	100	250	500	1000	2000	5000
Hg	(g)	0,07	0,12	0,2	0,36	0,56	1	1,8	2,8	5	8,5	14
Ni	(g)	0,7	1,2	2	3,5	6	10	18	28	50	85	140
P	(g)	4	10	20	40	100	200	400	1000	2000	4000	10 000
Pb	(g)	0,2	0,5	1	2	5	10	20	50	100	200	500
Sb	(g)	0,02	0.05	0,1	0,2	0,5	1	2	5	10	20	50
Zn	(g)	10	25	50	100	250	500	1000	2500	5000	1000	2000
		Descending order of potable water quality								Non-potable water		

a = μS/cm
b = ppm = mg/l
c = pH = −log (H^+)
d = FILTAC-Index = organic fouling index
e = FTU = formazin turbidity units
f = mg $KMnO_4$/l
g = ppb = mg/m^3
h = val/m^3 = meq/l
Index ± $CaCO_3$ = saturation index
PAH = polynuclear aromatic hydrocarbons

NOTE use of commas instead of decimal points in this Table, which is reproduced by courtesy of Christ AG.

جدول 2-3. طرق معالجة الماء

أقسام الشوائب	عمليات المعالجة الشائعة
أ. مواد ذائبـــه :	
١.أملاح غير عضويه Inorganic salts	• أكسدة / ترشيح للمنجنيز والحديد ــ كربونات كالسيوم ــ عمليات ترسيب للعناصر الثقيلة . • الكلوره لإزالة السياتيد . • التبادل الأيونى ــ الأسموزيه العكسية ــ التحلل الكهربائى ــ التقطير . • الأكسدة NH_4 إلى NO_3 وعمليات عكس النترته NO_3 إلى N_2 وذلك عن طريق العمليات البيولوجيه .
٢. مواد عضويه ذائبه	• تجميع يليه ترسيب ــ ترشيح ــ طفوــ ترشيح دقيق ــ اســتخدام الكربون النشط ــ معامله بيولوجيه ــ إزالة كيميائــيه مــثل المعامله بالأوزون والكلوره واستخدام برمجنات البوتاسيوم والتبادل الأيونى .
ب. مواد عالقـــه:	
١. غرويات عضويه وغير عضويه	• عمليات تجميع • معامله بيولوجيه لخفضه BOD • الترشيح الدقيق
٢. معلقات غير عضويه	• ترسيب / نخل
٣. معلقات عضويه	• ترسيب / نخل • ترشيح • معامله بيولوجيه لخفضه BOD
ج. مواد حيـــة: Living organisms	
١. كائنات حية دقيقة microoganisms	• معامله بيولوجيه • ترشيح دقيق • تعقيم بواسطة الأوزون والكلوره • تعقيم بواسطة الحرارة • استخدام الأشعة فوق البنفسجية
٢. كائنات حية كبيرة	• نخل / ترشيح
٣. غازات	• معالجة حرارية أو إزالة الغازات ميكانيكيا • إزالة الكلور بواسطة الكربون النشط • التبادل الأيونى • إزالة الاكسجين بواسطة الكبريتيت أو الهيدرازين

مياه الآبار العميقة Deep well water

وهـــذه المـــياه عـــادة ما تتواجد نتيجة مرور الماء خلال الطبقات العميقة من الأراضـــى وتشـــمل المياه التى تظهر من springs بعد تخللها هذه الطبقات والتحليل التالى يمثل الصفات الكيميائية والطبيعية لهذه المياه.

تحليـــل الميـــاه:

المصـــــدر	: ماء بئر
اللـــــــون	: شفاف
المواد العالقة	: منخفض جدا
التوصيل الكهربائى	570 uS/cm :
pH	7.3 – 7.9 :
المواد الصلبة الكلية TDS	410 ppm :
الكاتيونـــات	
كالسيوم	250 ppm Ca CO_3
مغنسيوم	75 ppm Ca CO_3
صوديوم	25 ppm Ca CO_3
أنيونـــــات	
بيكربونات	250 ppm Ca CO_3
كلوريد	40 ppm Ca CO_3
كبريتات	50 ppm Ca CO_3
نترات	10 ppm Ca CO_3
سليكا	10 ppm Ca CO_3
ماده عضوية	منخفضة جداً

هذه المياه قد تحتوى على حديد أو منجنيز ذائب والتى تكون رواسب بنية اللون عند تعرضها للجو. الكائنات الحية فى هذه المياه عادة ما تكون منخفضة جداً ويمكن لهـــذا المياه أن تحتوى على كميات عالية من CO_2 ينتج عنها انخفاض فى درجة pH المـــاء. خـــلال عملية انتقال المياه خلال الطبقات يفقد الماء محتواه من المادة العضوية ولذلـــك يحـــتوى هـــذا المـــاء على مستويات منخفضة من البكتريا والمواد العضوية

الأخـــرى. ولذلـــك فهذا المياه يمكن استخدامها فى الشرب على عكس مياه الآبار الضـــحلة التى تحتوى على كميات كبيرة من البكتريا والتى كانت سببا فى الماضى فى الإصابة بالكوليرا.

من الناحية الأخرى فإن مرور هذه المياه خلال الطبقات المعدنية فى التربة يؤدى إلى غســـيل بعض الأملاح خاصة فى وجود مستويات عالية من CO_2 ولذلك نجد أن الأمـــلاح الكلية الذائبة فى هذه المياه تكون عالية وغالبا ما تكون غنية فى بيكربونات الكالسيوم. أيضا هذه المياه تكون من نوع العسر المؤقت ولذلك فهى تميل إلى تكوين ترسيبات scale داخل الأنابيب ولا تؤدى إلى تآكلها كما أنها تسبب مشاكل كبيرة فى الغلايات.

عـــند أخـــذ هـــذه المياه من عمق كبير نجد أنها تحتوى على مستوى قليل من الأكسجين وبيكربونات حديد أو منجنيز ذائب. وعندما تتعرض هذه المياه إلى الهواء الجـــوى يتأكسد البيكربونات إلى أملاح المنجنيز والحديد غير الذائبة وفى هذه الحالة فإن الماء يكون خالى من أملاح الحديد والمنجنيز لترسيبها فى البئر.

مـــــاء Moorland water

فى الأمـــاكن الـــتى تتواجد فيها الأراضى كطبقة رقيقة فوق صخور غير منفذه يحـــتمل تواجد نوع من المياه له صفات خاصة. ومثال ذلك الماء الموجود فى المناطق الثلجية فى سكاندينافيا وسكوتلاند وكندا.

تحليـــل المـــاء

المصـــــدر	Moorland water :
اللـــــون	: مائل إلى الاصفرار
المواد العالقة	: مختلفة
التوصيل الكهربائى	150 uS/cm :
PH	6.5 – 7.2 :
TDS	105 ppm :

الكاتيونـــات	
كالسيوم	30 ppm $Ca\ CO_3$
مغنسيوم	15 ppm $Ca\ CO_3$
صوديوم	35 ppm $Ca\ CO_3$
أنيونـــــات	
بيكربونات	30 ppm $Ca\ CO_3$
كلوريد	30 ppm $Ca\ CO_3$
كبريتات	15 ppm $Ca\ CO_3$
نترات	5 ppm $Ca\ CO_3$
سليكا	6 ppm $Ca\ CO_3$
ماده عضوية	10 – 20 ppm $KMnO_4$

عـــندما تؤخـــذ هذه المياه من البحيرات فألها تحتوى على مستوى منخفض من المـــواد العالقة أما عند أخذها من المجارى المائية فإلها تحتوى على مستويات مختلفة من المواد العالقة والغروية والمواد العضوية الذائبة.

ولأن هذا النوع من المياه يجرى فوق صخور غير منفذه فإن محتواها من الأملاح الكلـــية الذائبة يكون منخفض العسر. وأملاح البيكربونات فى هذه المياه تكون قليلة. وبالـــتالى فإن هذا الماء يمكن أن يؤدى إلى تآكل المعادن ولذلك فإن استخدام أنابيب الرصاص أو الصلب فى نقل هذه المياه يمكن أن يؤدى إلى تلوث هذه المياه بالرصاص.

مـــرور المياه على المادة العضوية فى الأراضى يؤدى إلى ارتفاع محتواها من المادة العضوية وتشمل العديد من المركبات العضوية التى تقع فى المدى الغروى. محتوى هذه المياه من البكتريا يعتبر آمن ولذلك يمكن استخدامها فى الشرب بدون ماملة.

المياه السطحية Surface Water

هـــذه المـــياه تشمل المياه التى مصدرها الأنهار والبحيرات والقنوات وغالبا ما تتلوث بمواد طبيعية وصناعية.

وتحليل هذه المياه كما يلى:

المصـــــدر : ماء نهر

اللـــــــون	: عكـــــر
المواد العالقة	10-30 ppm :
التوصيل الكهربائى	915 uS/cm :
pH	7 – 8 :
TDS	640 ppm :
الكاتيونـــات	
كالسيوم	200 ppm Ca CO_3
مغنسيوم	75 ppm Ca CO_3
صوديوم	200 ppm Ca CO_3
أنيونـــــات	
بيكربونات	125 ppm Ca CO_3
كلوريد	125 ppm Ca CO_3
كبريتات	175 ppm Ca CO_3
نترات	50 ppm Ca CO_3
سليكا	10 ppm Ca CO_3
ماده عضوية	مختلفة وتشمل المنظفات

وهـــذه المياه تحمل كل أنواع الشوائب شاملة المنظفات والفوسفات والزيوت والعناصـــر الثقـــيلة ومـــياه الصرف الصحى المعالجة جزئيا. وهذه المياه تكون ملوثة بالبكتريا كما أن محتواها من الأمونيا والفينول والنترات يكون عاليا.

مياه الجريان السطحى الناتجة عن الزراعة Agriculture runoff

مياه الجريان الناتجة من الرى الزراعى تعمل على زيادة محتوى المياه من النترات والفوسفات خاصة فى المناطق الزراعية الكثيفة التى تتم فيها استخدام الأسمدة بصورة مكثفة. أيضا جريان الماء على الأراضى الزراعية بعد سقوط الأمطار الكثيفة يؤدى إلى رفـــع محتوى المياه من النترات إلى مستوى أعلى من المستوى الصالح للشرب. وعادة مـــا يصاحب النترات والفوسفات فى المياه الكالسيوم والكبريتات وهذه الأيونات لا تمـــثل أى خطـــر. أيضا عسر الماء والأملاح الكلية الذائبة تزيد بدرجة كبيرة مما يؤثر بدرجة كبيرة على استخدامها فى الصناعة.

المياه الجارية غالبا ما تستقبل مخلفات عضوية تسبب تلوثها مثل مخلفات الإنسان ومخلفـــات الصناعات الغذائية مما يرفع قيمة BOD. أما فى الأماكن الحضرية المكتظة بالسكان فإن المياه تستقبل العديد من الملوثات الكيميائية والمنظفات.

مياه الصرف الصحى:

الملوثـــات الناتجة من مياه الصرف الصحى يكون من الصعب إزالتها بعمليات

التجمع Coagulation. كما أن محتوى هذه المياه من المنظفات يمكن أن يمثل مشكلة عـــند معالجة المياه بالتبادل الأيونى. لأن المنظفات تؤثر بدرجة كبيرة على الراتنجات الأنيونية.

هذه المياه يجب تعقيمها قبل عملية الكلورة اللازمة لتصبح المياه صالحة للشرب أيضـــا مـــياه الصرف الصحى تحتوى على أملاح كلية ذائبة أعلى من المياه الأصلية المستخدمة بمقدار 50 ppm.

كمـــا أن محـــتواها مـــن الفوسفات والنيتروجين يكون عالى ومن المعروف أن عنصرى النيتروجين والفوسفات تساعدان على النمو الزائد للأعشاب والطحالب فى الماء.

مياه الصرف الصناعى:

مياه الصرف الصناعى تحتوى على العديد من الملوثات وهى غالبا ما تكن شبيهه بالملوثـــات الموجـــودة فى مياه الصرف الصحى وعموما فإن مياه الصرف الصناعى تضاف إلى مياه الصرف الصحى قبل المعالجة.

مياه المناطق الجافة Water from Arid Zones

المـــياه الموجودة فى المناطق الجافة غالبا ما تكون ذات محتوى عالى من المواد غير العضوية ومحتوى منخفض من المواد العضوية كما يوضح التحليل الأتى:-

المصـــــدر : مياه من منطقة جافة

اللـــــون	: قد تكون عكره فى مواسم معينه
المواد العالقة	: الرمل والطين
التوصيل الكهربائى	1000-7000 uS/cm :
pH	7.5 – 8.5 :
الأملاح الكلية الذائبة	700-5000 ppm :
الكاتيونـــات	
كالسيوم	250-1500 ppm Ca CO_3
مغنسيوم	150-500 ppm Ca CO_3
صوديوم	150-2000 ppm Ca CO_3
الأنيونــــات	
بيكربونات	أقل من 25% من الأيونات الكلية
كلوريد	قد تصل إلى 2000 ppm $CaCO_3$ حينما يوجد تداخل مع ماء البحر
كبريتات	قد تصل إلى 1500 ppm as Ca CO_3 فى شكل جبس
نترات	منخفضة
السليكا	10-20 as ppm Ca CO_3
ماده عضوية	لا تمثل مشكلة لوجودها بكميات ضئيلة

مـــياه الآبار العميقة قد تحتوى على H2S ذائب. ويلاحظ من التحليل السابق ارتفـــاع محتوى المياه من الأملاح الكلية الذائبة نتيجة تداخل هذه المياه مع مياه البحر Sea water intrusion فحينما يتواجد تراكيب جيولوجية مسامية بالقرب من البحر فـــإن مياه البحر تتخلل هذه الطبقات. وتصل إلى المياه الجوفية وحينما تتسرب المياه العذبة إلى أسفل من خلال المسام أو من خلال المناطق المنخفضة تتكون طبقة من المياه العذبـــة أعلى طبقة المياه المالحة وعند حفر البئر فإنه يتم سحب طبقة المياه العذبة أولا أمـــا اذا كان السحب عالى فإن الماء المسحوب عادة ما يكون خليط من المياه العذبة والمالحـــة. وتداخـــل مياه البحر لا يحدث فى المناطق القريبة من البحار فقط ولكن قد تصل إلى حوالى 30 km بعيدا عن البحر كما هو الحال فى ليبيا.

أيضـــا قـــد يكون ارتفاع الأملاح الكلية الذائبة فى المياه راجع إلى غسيل المياه لمعـــادن الطبقات التى يمر خلالها وفى هذه الحالة فإن محتوى المياه من الكالسيوم يكون

عالى فإيران يوجد بها مناطق غنية بالجبس والماء المار بهذه المناطق يحتوى على كبريتات كالسيوم بكميات تصل إلى 2000ppm. مياه الآبار العميقة غالبا ما تحتوى على مستويات منخفضة من الأكسجين مما يساعد على وجود أيونات الحديد والمنجنيز الذائبة كما تحتوى هذه المياه فى بعض الأحوال على H_2S ذائب كما هو الحال فى المملكة العربية السعودية.

المياه فى المناطق الأستوائية

وهى المياه التى تتواجد فى المناطق التى تتساقط فيها كميات من الأمطار على مدار العام كما فى مناطق غرب أفريقيا وهذه المياه تتميز بانخفاض محتواها من الأملاح الكلية الذائبة وذلك للغسيل المستمر للطبقات السطحية التى يتلامس معها الماء. عامة فإن مياه الآبار فى هذه المناطق لا يتأثر كثيرا بسقوط الأمطار لعدم تزايد اختراق المياه للطبقات نتيجة سقوط الأمطار ولذلك فإن التركيب الكيميائى لهذه المياه يشابه إلى حد كبير مياه المناطق المعتدلة.

والمشكلة الرئيسية فى معاملة المياه السطحية فى المناطق الأستوائية هو إزالة المواد العضوية وغير العضوية المعلقة وذلك نتيجة للغطاء النباتى الكثيف من جهة وتزايد الحبيبات الفردية نتيجة الأمطار من جهة أخرى. فى بعض المناطق وخاصة فى أفريقيا فإن الزراعة الكثيفة لمقابلة الاحتياجات الغذائية للأعداد المتزايدة من السكان أدت إلى تدهور التربة. ومثال ذلك نهر شمال أفريقيا الذى يعتبر مصدراً لمياه الشرب ولقد وجد أن مياه هذا النهر تحتوى على مواد صلبة معلقة تصل إلى 10.000ppm فى موسم المطر والمياه السطحية فى هذه المناطق تعتبر غير آمنه بكتربولوجيا وقد تحتوى على الطفيليات الممرضة مثل البلهارسيا. أيضا المياه السطحية فى هذه المناطق تشجع على نمو الطحالب فيها نتيجة المستويات العالية من الفوسفور والنيتروجين وأشعة الشمس وهذا بدوره يسبب مشاكل كبيرة لتنقية هذه المياه.

الخلاصة

يتضح مما سبق أن الخواص العامة المشتركة للمياه السابق ذكرها هو الاختلاف الكبير فيما بينها خاصة من ناحية المواد العالقة والعكاره والأملاح الذائبة وتأثر ذلك بمواســم الأمطــار. أيضــا المياه السطحية فى هذه المناطق عرضه للتلوث البكتيرى والكائنات الحية الدقيقة.

المياه المالحة Brackish water

الــنمو المــتزايد للســكان أدى إلى زيادة الاحتياج للمياه لدرجة يصعب على مصــادر المــياه العذبة الوفاء بهذه الاحتياجات. استيراد المياه من خلال النقل خلال الأنابيب تعتبر غير عمليه لأسباب اقتصادية وسياسية ولذلك فوجود مياه مالحة يمكن استخدامها تعتبر أحد البدائل المـمــكنة فولاية فلوريــدا (Cape Coral) تعطينا مثالا لذلــك حيث يوضح التحليل التالى إحتواء المياه الملحية فيها على 5000ppm أملاح كلية ذائبة علما بأن المياه المستخدمة فى التحليل هى مياه ناتجة عن تداخل مياه البحر مع المياه العذبة.

تحليل 2.5.

المصـــــدر	: مياه ملحية من كاب كورال بولاية فلوريدا ــ أمريكا
اللـــــون	5 APHA units :
المواد العالقة	: لا يوجد
التوصيل الكهربائى	2250 uS/cm :
pH	7 – 45 :
TDS	1500 ppm :
الكاتيونــات	
كالسيوم	60
مغنسيوم	73
صوديوم	257
سترنيوم	9.7
بوتاسيوم	15.4

منجنيز	0.002
حديد	0.06
الأنيونـــات	
كلوريد	502
كبريتات	162
فلوريد	2.05
السليكا	24.5

مياه البحر Sea water

والتحليل التالى يوضح التركيب الكيميائى لمياه بحر الكاريبى

تحليـــل 2.6.

المصـــــدر	: البحر الكاريبى
التوصيل الكهربائى	51000 uS/cm :
pH	7 .9 :
TDS	36200 :
الكاتيونـــات	
الكالسيوم	350
المغنسيوم	1330
الصوديوم	10300
البوتاسيوم	350
حديد	-
الأنيونـــات	
بيكرونات	170
كلوريد	20510
كبريتات	2850
السليكا	20
مواد عضوية	$\ell < 0.1$ of O_2/ (تم أنطلاقهـــا نتيجة المعاملة ببرمنجات بوتاسيوم فى وسط قلوى)

عمليات المعالجة Process selection

ســـوف نلقـــى الضوء على بعض عمليات معالجة الماء مرتبه حسب الأفضلية

وتشمل:

أ. الترشيح Filtration

وتـــتم هذه العملية لإزالة الشوائب غير الذائبة وبوجه عامه فإن ترشيح كثير من مصادر المياه العذبة تعتبر وسيلة لإنتاج مياه صالحة للشرب.

ب. التقطير Distillation

وهـــى وسيلة شائعة للتنقية وتستخدم حاليا لتحلية المياه المالحة ومياه البحر التى تحـــتوى عـــلى أكثر من 5000ppm أملاح كلية ذائبة وخاصة فى المناطق التى تمتلك موارد طاقة رخيصة. أيضا تستخدم تقنية التقطير لإنتاج مياه نقية لصناعة الدواء حيث أن المياه الناتجة من التقطير تكون خالية من المواد العضوية وذات محتوى منخفض من الأملاح الكلية الذائبة.

التبادل الأيونى Ion Exchange

وهذه العملية تعتبر نموذجية عندما يكون محتوى المياه من الأملاح الكلية الذائبة لا يزيد عن ppm 700. وفى هذه العملية يتم إزالة الأملاح وكذلك الملوثات العضوية اذا مـــا تم اســـتخدام الراتنج الصحيح فى هذه العملية. وهذه العملية قادرة الآن على إنتاج مياه نقية تماما.

التحلل الكهربائى Electrodialysis

وهذه التقنية تستخدم فى معالجة المياه المالحة التى تحتوى على 2000 ppm أملاح كلية ذائبة وذلك لأنتاج مياه تحتوى على 500ppm أملاح ذائبة.

الأسموزيه العكسية Reverse Osmosis

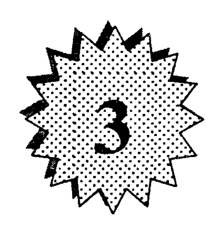
وتعتـــبر هـــذه التقنية مفضلة لمعالجة المياه التى تحتوى على أكثر من 700ppm أمـــلاح كلـــية ذائـــبة ويشمل ذلك مياه البحار والمياه المالحة. وتستخدم هذه التقنية بكفـــاءة فى صناعة الدواء ولإنتاج مياه الحقن حيث أن الناتج النهائى يحتوى على 5-10% من الأملاح الكلية الذائبة الأصلية مع إزالة المواد العضوية تماما.

الفصل الثالث

فيزياء وكيمياء الماء

- ❖ الذرات والجزيئات
- ❖ جزئ الماء
- ❖ خواص الماء
- ❖ الروابط المتكافئة والإلكتروليتات





فيزياء وكيمياء الماء

Water Physics and Chemistry

المـــادة:

المـادة هـي العالم المحيط بنا (الأرض الصلبة والغلاف السائل والغلاف الجوى الغـازى). ويمكـن إعتـبار المادة مكونة من ثلاثة أنواع من الحبيبات الأساسية هى الـبروتون والنيـترون والإلكـترون. يوضح جدول (3-1) كتل الحبيبات الأساسية ويلاحظ تساوى كتلة كلا من النيترون والبروتون تقريبا بينما كتلة الإلكترون أخف بمقدار 1840 مرة.

جدول 3-1. صفات البروتون والنيترون والإلكترون

الحبيبة	الرمز	الشحنة	الكتلة
بروتون	p	^{+}e	1.6725×10^{-27} kg
نيترون	n	o	1.6748×10^{-27} kg
الكترون	e-	^{-}e	9.1091×10^{-31} kg

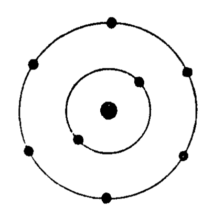
الذرات والجزيئات

تـتكون الـذرة مـن نـواه متماسكة ذات شحنة موجبة محاطة بشحنة من الإلكترونات ويتراوح نصف قطر النواه من حوالى 1×10^{-15}m للهيدروجين إلى حوالى 7×10^{-15}m لأثقـل الذرات وينظر إلى الذرة على أنها ذات مركز عظيم الكتلة ضئيل

الحجم ويحمل شحنة.

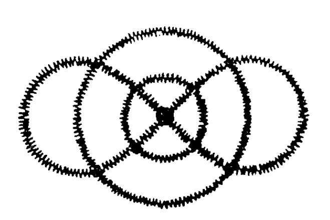
يعتبر الجزىء هو أصغر الحبيبات التى تملك جميع خواص المادة النقية (كتلة جزىء الماء 2.99×10^{-23}) ويتكون الجزىء عادة من عدد من الذرات وإن كان جزيئات بعض الغازات مثل الأرجون يحتوى على ذرة واحدة. وتتم الروابط الكيميائية فى الجزيئات من خلال الإلكترونات الخارجية التى يتم إعادة توزيعها بين الذرات عند إقتراب الذرات من بعضها وقت حدوث التفاعلات الكيمائية مكونه الرابطة الكيميائية.

النظرية القديمة للذرات والإلكترونات ينظر إلى الإلكترونات على أنها حبيبات ذات شحنات سالبة تدور فى مدارات حول النويات ذات الشحنة الموجبة. وتمثل نواة الذرة أغلب كتلة الذرة وأن كان حجمها صغيراً جداً بينما تحتل الإلكترونات معظم حجم الذرة . عدد الإلكترونات (العدد الذرى Z) فى الذرة هو الذى يحدد الطبيعية الكيميائية للذرة. وتعتبر ذرة الهيدروجين أصغر الذرات على الإطلاق وتحتوى على إلكترون واحد بينما تحتوى ذرة الأكسجين على ثمانية إلكترونات (شكل 3-1). كتلة أى إلكترون يمثل 1/1840 من كتلة نواه ذرة الهيدروجين بينما شحنة الإلكترون تساوى 1.6×10^{-19}. وتتكون نواة ذرة الهيدروجين من بروتون واحد موجب ذو كتلة تعادل الوحدة. الذرات الأكبر تملك نواة تحتوى على نيوترنات وبروتونات (كتلة النيترون تماثل كتلة البروتون) ولكنه لا يحتوى على شحن. فى الذرات المتعادلة كهربائيا فإن عدد البروتونات يعادل عدد الإلكترونات ليصبح عدد البروتونات مساويا للفرق بين الوزن الذرى وعدد البروتونات (العدد الذرى Z).



شـــكل 3-1. ذرة الأكسجين فى النظرية الذرية القديمة (نواة الذرة تحتوى على 8 بروتونات و 8 نيترونات بينما يوجد 2 الكترون فى المدار الخارجى الأول ، 2 الكترون فى المدار الخارجى الثانى).

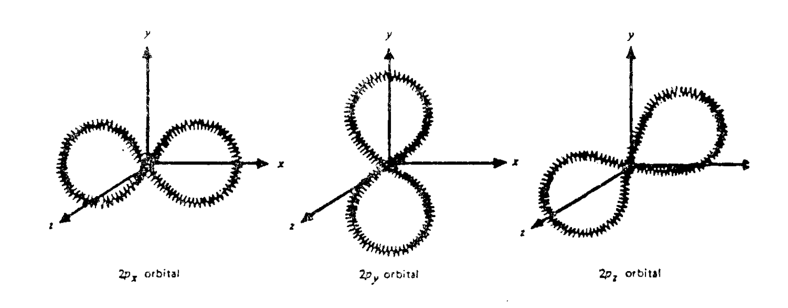
الـــنظرية الذريـــة الحديثة تماثل النظرية القديمة ولكنها تعتبر وجود الإلكترونات على شكل سحب clouds سالبة الشحنة بدلا من اعتبارها حبيبات ذات شحنة تدور فى مـــدارات ثابتة. ويتوقف توزيع الإلكترونات فى السحابة الإلكترونية على وظيفة المدار ومنطقة الفراغ خارج النواة والتى تتمركز فيها السحابة الإلكترونية والتى عادة مـــا يشار إليها بالمدار الإلكترونى (شكل 3.2). وكل مدار من هذه المدارات يحتوى عـــلى إلكـــترونين يدوران عكس بعضهما مما يعطى كل مدار نظام ترتيبى وشكلى ثابت. الإلكترون الوحيد فى المدار تبعا لذلك يصبح أقل ثباتا وبذلك يكون أكثر قدرة عـــلى الدخـــول فى التفاعلات الكيميائية للحصول على إلكترون أخر ليكون شكل مدارى ثابت.



شكل 3-2. مدارات ذرة البورون (5 بروتونات، 6 نيترونات فى النواة، 2 إلكترون فى المدار 2،1s إلكترون فى المدار 2s ، إلكترون فى المدار 2p)

تترتب الإلكترونات فى أغلفة حول النويات وتكون الإلكترونات الخارجية هى فقــط النشـــطة كيميائيا. تعتمد نظرية المدارات الإلكترونية على أعداد كمية رئيسية 1,2,3, …….. الـــتى تصـــف متوسط مستوى الطاقة للإلكترون بينما تصف الأعداد الكمـــية الثانـــية s,p,d,f شكل المدارات الإلكترونية فنجد أن مدارات s تأخذ شكل غلاف كروى يتماثل حول النواة بينما تكون مدارات p على شكل جرس ينقسم إلى ٣ ثلاث مكونات موزعة على طول أحد المحاور المارة بالنواه. فإذا كان أعلى إحتمال لإيجـــاد الكـــترون على طول محور x فيشار إلى المدار بالرمز P_x وإذا كان على طول محور Y فإنه Py وإذا كان على طول محور Z فإنه Pz ويمثل شكل 3-3 هذه المدارات الثلاث.

ويوجد خمسة احتمالات لمدارات d وسبعة احتمالات لمدارت f وهذه المدارات **لها توزيع فراغى فريد** لا يتسع المقام لذكره.



شكل 3-3. مدارات **2p**

الوزن الذرى والوزن الجزئى

الكتلة المطلقة للذرات والجزيئات هى كمية صغيرة جداً لذلك فإنه من المناسب اســـتخدام أوزان نســـبية للذرات بمعنى أخذ ذرة مثل الهيدروجين كأساس للمقارنة

ويعطـــى وزن ذرى 1 حيـــث أن وزن ذرة الهــيدروجين هو أصغر وزن ذرى على الإطلاق بينما أعلى وزن ذرى يكون لذرة اليورانيوم ويكافىء 238 ويكون للعناصر وزن ذرى بينما المركبات يكون لها وزن جزيئى والوزن الجزيئى للمركبات هو عبارة عن مجموع الأوزان الذرية للعناصر المكونة منها.

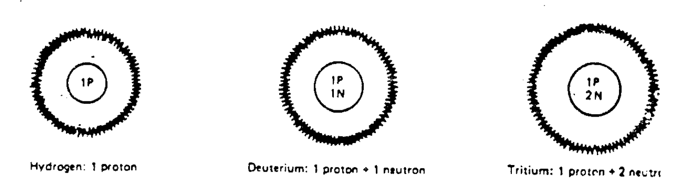
حالــيا نؤخـــذ وزن ذرة الكربون كأساس ومرجع للمقارنة $^{12}C=12$ ونتيجة لذلـــك فـــإن الأوزان الذرية للهيدروجين والأكسجين تصبح 15.999,1.008 على التوالى. وعلى هذا الأساس يكون الوزن الجزيئى للماء هو 18.015.

النظائر المشعة Isotopes

يطلق لفظ النظائر على أى ذرتين تختلفان فقط فى عدد النيترونات الموجودة فى الـــنواة وتمتلكان نفس العدد الذرى والخواص الكيميائية وبالتالى فهما يختلفان فقط فى العـــدد الـــذرى. ويـــتم التمييز بين النظائر بكتابة الوزن الذرى الرئيسى أعلى الرمز الكيمـــيائى فمـــثلا الهـــيدروجين له ثلاث نظائر ذات عدد ذرى 1 والنظير ^{1}H هو هـــيدروجين عـــادى تحـــتوى الـــنواة فيه على بروتون واحد، ^{2}H هو الديوتيريوم deuterium ذو نواة تحتوى على بروتون واحد ونيترون واحد ، تريتيوم ^{3}H Tritium الـــذى تحتوى نواته على بروتون واحد وإثنين نيوترون وهذا الترتيب يجعل النواة غير ثابتة وبالتالى يكون التربتيوم نشط إشعاعيا ويطلق أشعة بيتا وفترة نصف العمر له هى 12.3 سنة.

ملحوظة

أكســـيد Deuterium ($^{2}H_2O$) المـــناظر لـــلماء هو عبارة عن سائل ذو كثافة تســـاوى 1.103 مـــرة قـــدر وزن الماء عند درجة حرارة 20°C (شكل 3.4). أيضا الأكســـجين له ثـــلاث نظائر هى ^{16}O, ^{17}O, ^{18}O وتواجدهم النسبى طبيعيا يكون 99.67, 0.04, 0.2% على الترتيب وبالتالى احتمال تواجد نظائر للماء هو أمر محتمل.



شكل 3-4. نظائر الهيدروجين وتحتوى جميعا على الكترون واحد فى المدار s.

المـــول Mole

يعرف المول بأنه الوزن الجزئى النسبى مقدرا بالجرامات . ويحتوى المول الواحد على عدد (ذرات) جزيئات يساوى عدد أفوجادروا 6.022×10^{23} وعلى ذلك فإن واحـــد مول من الذرات يساوى الوزن الذرى بالجرام وأن واحد مول من الجزيئات يساوى الوزن الجزئى بالجرام فعلى سبيل المثال.

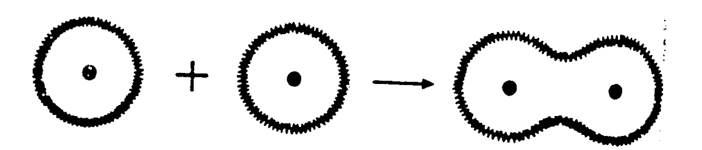
١ مـــول مـــن ذرات الهيدروجين H كتلته 1.00797g وتشمل عدد من ذرات الهـــيدروجين يساوى 6.022×10^{23} ذرة، ١ مول من جزيئات الهيدروجين H_2 كتلته 2.01594 وتشمل عددا من جزيئات الهيدروجين يساوى 6.0235×10^{23} جزئ.

وعـــند معالجة الماء فإنه لمن المفيد التعبير عن تركيز الشوائب الكيميائية المعروفة بالمول/لتر وواحد مول من الماء يساوى 18.015g.

جزيئات الهيدروجين والأكسيجين

تمـــتلك ذرة الهيدروجين فى الحالة غير النشطة ground state الكترون واحد فى المـــدار 1s. ولذلـــك فـــإن هـــذا الالكترون تكون له قدرة عالية للتفاعل مع ذرة هـــيدروجين أخـــرى لـــيعطى جـــزئ الهـــيدروجين H_2. وفى هـــذا الجزئ ينطبق المدارات الذرية البسيطة فى كل ذرة مكونة مدار جزيئ يحتوى على الكترونين شكل

(3-5) وهـــذا النوع من الارتباط الذى يشترك فيه كلا من الذرتين بالكترون يسمى الرابطة التساهميه.



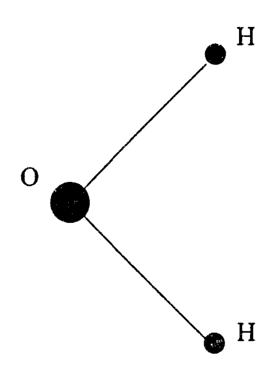
شكل 3-5. تفاعل ذرتى هيدروجين لتعطى مدار جزئ يحتوى على زوج من الإلكترونات.

أمـــا الأكســـجين فى الحالة غير النشطة ground state فهو يحتوى على ثمانية الكـــترون موزعـــة كالتالى: ٢ فى 1s، أثنين فى 2s، أثنين فى 2p بينما الأثنين الباقيين يـــتوزعان عـــلى مدارى 2p. وعند اتحاد ذرتى أكسجين مع بعضهما يتكون جزئ الأكســـجين ثـــنائى الذرة O_2 الذى يحتوى على زوجين من الإلكترونات فى المدار الجزيئى.

وجـــود الكترونات منفردة فى مدارى sp يجعل ذرة الأكسجين نشطة كيميائيا ويعطيها صفة البارا مغناطيسية (تواجد أقطاب مغناطيسية دائمة).

جـــزئ الماء

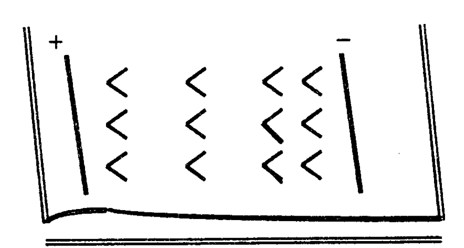
تتفاعل ذرة الأكسجين مع ذرتى هيدروجين مكونا الماء وينتج من هذا التفاعل انطلاق طاقة ناتجة عن إعادة توزيع الإلكترونات حيث يتم اخذ الإلكترونات الذرية فى ذرة الأكســـجين لتكون أزواج إلكترونية فى المدار الجزيئ . والزاوية بين مدارى الارتـــباط فى المـــاء تساوى 104.5° وهى أكبر قليلا من الزاوية بين مدارى 2p والتى تساوى 40° شكل (6 - 3).



شكل 3-6. شكل جزئ الماء – نواة الأكسجين تحمل شحنة سالبة ونواة الهيدروجين تحمل شحنة موجبة

وارتباط الهيدروجين بالأكسجين فى جزئ الماء يتم على طريقة الروابط التعاونية. ونظراً لكبر حجم نواه ذرة الأكسجين بالنسبة إلى نواة ذرة الهيدروجين فإنها تجذب أكثر من نصف الإلكترونات فى الرابطة التعاونية وبالتالى تحمل شحنة سالبة ويصبح ذرتى الهيدروجين محملتين بشحنة موجبة ونتيجة لذلك فإن جزئ الماء يحمل شحنتين ويطلق عليه جزئ ثنائى القطبية dipole وهذه الصفة يرجع إليها الكثير من خواص الماء.

وعند وضع الماء بين قطبين ذو شحنتين سالبة وموجبة فإن جزيئات الماء تترتب بحيث تخفض الجهد بين القطبين (شكل 3-7) وهذه الخاصية هى السبب فى إرتفاع ثابت ثنائى الكهربية للماء والذى يصل إلى 80 عند درجة حرارة 20° وبالتالى يكون الترتيب جيد للغاية للمواد المتأنية حيث يعمل الماء نتيجة لقطبيته إلى مصاحبة الماء فى الصورة السائلة.



شكل 3-7. ترتيب جزيئات الماء بين القطبين ذى الشحنة

خواص المـــــاء

١- الثبات الكيميائى للماء

عند تكون الماء من عناصره (الأكسجين والهيدروجين) تنطلق طاقة تقدر بحوالى 286 kj/mol. والـــتفاعل المباشـــر يعتبر ذو طبيعة انفجارية explosive ولكن يمكن إجـــراؤة عند درجات حرارة عادية تحت ظروف خاصة فى خلية الوقود وهذه الخلية تكون من الكترودات وعوامل مساعدة وغشاء تبادل أيونى مرتبة بدرجة تسمح باتحاد غـــازى الهيدروجين والأكسجين منتجا طاقة كهربائية. وأقصى فولت ينتج من هذه الخلية هو 1.23 V عند 20° وهو ما يعادل طاقة كهربائية قدرها 237 kj/mol.

انطـــلاق طاقـــه كهربائـــية كبيرة عند تكون الماء يعنى ثبات الماء كيميائيا عند درجـــات الحرارة العادية. أما عند درجات الحرارة العالية فيتحلل الماء وتكون درجة التحلل عند 2000 °C هى حوالى 0.008.

يمكن للماء أن ينحل بواسطة الفلزات القلوية والليثيوم والصوديوم والبوتاسيوم منـــتجا غاز الهيدروجين وهيدروكسيد الفلز. كما يمكن للماء أن يتفاعل مع الفلزات القلوية الأرضية الكالسيوم والسترنشيوم والباريوم وكذلك الحديد وفى هذه التفاعلات يتفاعل الماء كمادة مؤكسدة.

وعـــند درجات الحرارة العادية يكون التوصيل الكهربائى للماء ضعيفا مما يدل على وجود تأين ضعيف جداً للماء.

$$H^+ + \rightleftarrows \quad OH^- \; H_2O$$

٢- التحلل الأيونى للماء Ionic dissociation of water

يـــتحلل الماء إلى أيوناته (الهيدروكسيل والهيدروجين) عند درجة حرارة 25°C بمقـــدار ضئيل جداً يقدر بحوالى واحد جزئ من الأيونات لكل 555 مليون جزئ ماء وتكون الأيونات المنحلة مصاحبة بقوة لجزيئات الماء فأيون الهيدروجين H^+ لا يتواجد

بمفردة فى الماء مطلقا ولذلك فهو عادة ما يكتب كأيون الهيدرونيوم H_3O^+:

$$2\,H_2O = H_3O^+ + OH^-$$

قـيمة التوصيل الكهربائى للماء عند درجة 25° هى 0.056 uS/cm وهو ما يعادل تركيز 10^{-7} mol/l من أيونات الهيدرونيوم والهيدروكسيل.

وبتطبيق قانون فعل الكتلة على تحلل الماء فإن الناتج الأيونى يصبح:

$$K_w = [H_3O^+]\,[OH^-]$$

حـيث:

[ ] التركيز مقدرا بالمول / لتر يكون ثابت عند درجة حلرارة معينة. وقيمة K_w هى 10^{-14} $(mol/l)^2$ عند درجة حرارة 25°C.

٣- درجة الحموضة pH

يمكـن التعـبير عن التركيز الضعيف لتركيز الأيونات باستخدام اللوغارتيم السـالب فعل سبيل المثال يمكن التعبير عن K_w باستخدام اللوغارتيم السالب فيصبح pK_w: $pK_w = -\log K_w$ عند درجة حرارة 25°C

$$pK_w = -\log(10^{-14}) = -(-14) = 14$$

فكـلما صغرت قيمة K_w تزيد قيمة pK_w ويستخدم اللوغارتيم السالب عادة للتعبير عن تركيز أيون الهيدرونيوم فى الماء والمحاليل المائية.

$$pH = -\log\,[H_3O^+]$$

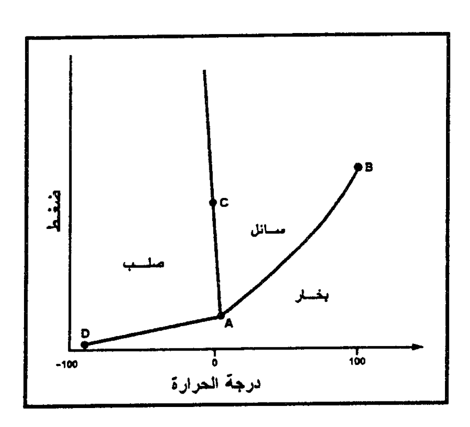
والتعريف الدقيق للـ pH هو عبارة عن اللوغاريتم السالب للنشاط الديناميكى الحـرارى لأيونات الهيدرونيوم. وهنا بعتبر النشاط مساويا للتركيز الجزيئ فى المحاليل المخففـة . وعـند درجة حرارة 25°C فإن تركيز أيونات الهيدرونيوم فى الماء النقى تكون 10^{-7} mol/l ولذلك فإن

$$pH = -\log(10^{-7}) = 7$$

ودرجـــة الـــ pH هذه تمثل درجة التعادل بين الحمض والقلوى وإضافة حمض إلى الماء يزيد من تركيز أيونات الهيدرونيوم فيقل الـــ pH ولما كان الناتج الأيونى K_w ثابـــت فمن البديهى أن يقل تركيز أيونات الهيدروكسيل تبعا لذلك والعكس صحيح تماماً عند إضافة قلوى إلى الماء.

٤ – إتزان الأطوار phase equilibria

درجـــات الحـــرارة التى يحدث عندها غليان الماء أو تجمده ثابتة ولا تتغير تحت الضغط الجوى وهى 0°C،100°C وللماء نقطة ثلاثية triple Point أى درجة حرارة يـــتواجد عندها الصور الثلاثة للماء وهى الثلج والسائل والبخار والغاز فى حالة أتزان وهذه الدرجة هى 0.0098°C عند ضغط $0.011\ kN/m^2$ (شكل 8-3). فوق هذا الضـــغط يكون التوازن أيضا ممكنا فقط بين الثلج والسائل أما بين السائل والغاز أما أقـــل من الضغط السابق ذكره فيحدث أتزان فقط بين الثلج والسائل وبتسخين الثلج تحـــت هذه الظروف فإنه يتسامى مباشرة إلى بخار وهذا التأثير هو الذى يستخدم فى عمل التجفيف بالتبريد Freeze drying.



شكل 3-8. أتزان أطوار الماء . **A** تمثل النقطة الثلاثية، **AB** نقطة الغليان (أتزان السائل والغاز)، **AC** نقطة الانصهار (أتزان الصلب والسائل) **AD** التسامى (أتزان الصلب والغاز).

عندما يتجمد الماء السائل يحدث زيادة فى الحجم ولذلك نجد أن كثافة الماء عند درجة صفر مئوية تكون $0.999 g/cm^3$ بينما كثافة الثلج $0.917\ g/cm^3$.

وتقـــدر حـــرارة الانصهار للثلج 335J/g عند صفر درجة مئوية بينما حرارة التـــبخير للماء تقدر بـــ 2255J/g عند درجة 100°C وارتفاع درجة حرارة التبخير تعكس مدى قوة ترابط جزيئات الماء فى الحالة السائلة.

٥- التضاغط Compressibility

يعـــرف تضاغط السائل B بأنه التغيير النسبى فى الحجم ΔV مقسوما على التغير فى الضغط ΔP.

$$B = \frac{-\Delta V}{V \Delta P}$$

ووحدات B هى $pressure^{-1}$، cm^2 2/N أو Bar^{-1}.

قام Bridgeman بتجارب على تضاغط الماء وذلك بأن وضع الماء فى أسطوانه مصـــنوعة من سبيكة الصلب والكروم فاناديوم بداخلها مكبس وقام بقياس التغير فى الحجم بازدياد الضغط واستعمل ضغط حتى 95000 ضغط جوى ووجد أن تضاغط الماء هو داله للحرارة والضغط (جدول 3-2).

جدول 3-2 تضاغط الماء والمحاليل المائية

المحلول	التركيز %	درجة الحرارة °C	الضغط جو	$B, 10^{-10}\ m^2/N$
الماء	—	0 °C	500	4.56
	—	20°C	~	4.18
	—	4°C	~	4.09
	—	20°C	1000	3.91
	—	20°C	2000	3.47
	—	20°C	5000	2.18
سكر	0	12.4	1-140	4.59
	10	~	~	4.4
	20	~	~	3.91
كلوريد صوديوم	1.3	10	15	4.47
	13.5	10	15	3.34

تابع جدول 3-2

كلوريد كالسيوم	22.2	10	15	2.78
	5.8	20	2-20	3.92
	9.9	~	~	3.66
	17.8	~	~	3.09

ويوضح الجدول تأثير الأملاح والمواد الذائبة فى الماء على تضاغط الماء فنجد أن المواد الذائبة أدت إلى خفض تضاغط الماء.

٦- خواص الإذابة

قطبـــية جزيئات الماء تعنى مقدرة جزيئات الماء للترتيب حول الأيون ذو الشحنة الكهربائية وذلك اخفض الحقل الكهربائى للأيون. ولذلك فإن الماء يعتبر مذيب جيد لـــلمواد المتأيـــنه فعلى سبيل المثال فإن بلورة كلوريد الصوديوم تتركب من أيونات الصوديوم والكلور ممسوكة ببعضها داخل البلورة وبوضع بلورة كلوريد الصوديوم فى المـــاء فإن جزيئات الماء تحيط بالأيونات وتحطم البلورة وتذيب الملح. والماء له المقدرة عـــلى إذابة كل الأملاح والأحماض والقواعد بدرجات مختلفة. أيضاً جميع الغازات لها درجـــات ذائبـــية معينة فى الماء تتناسب مع الضغط الجزئى للغاز وتقل الذائبية بزيادة درجة الحرارة وعندما يكون للغاز مقدرة على إنتاج أيونات فى الماء مثل ثانى أكسيد الكـــربون، الأمونيا تكون ذائبية الغاز مرتفعة ويوضح الجدول رقم 3-3 ذائبية بعض الغازات.

جدول 3-3. ذائبية الغازات مقدرة بالسم المكعب من الغاز ذائب فى لتر من الماء عند ضغط غاز $100\ kN/m^2$ عند درجة حرارة $20°\ C$.

الأكسجين	31
نيتروجين	15
هيدروجين	15
ثانى أكسيد الكربون	878
كلور	2300
أمونيا	654

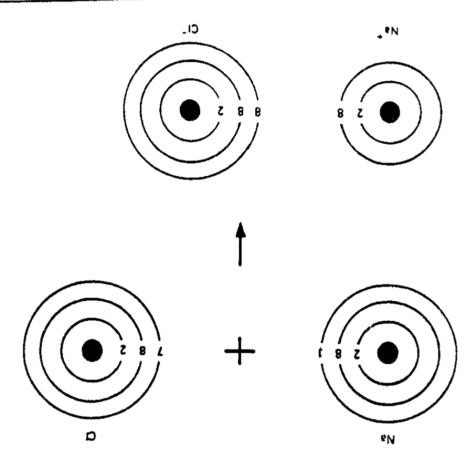
وذائبية السوائل فى الماء تعتمد بدرجة كبيرة على القطبية فالسوائل التى تتأين فى الماء مثل حمض الكبريتيك تتفاعل فى الماء منتجه حرارة. أما السوائل التى تحتوى على مجامـــيع قطبية مثل الكحولات والأمينات تكون شديدة الذوبان فى الماء بينما السوائل الغير قطبية مثل الهيدروكربونات تكون شحيحة الذوبان فى الماء ونفس المنطق ينطبق على ذائبية المواد الصلبة فى الماء.

٧- الغرويات Colloids

المركـــبات غـــير الذائـــبة فى المـــاء قـــد تكـــون معلقات غروية ثابتة فى الماء وتكـــون فيها الحبيبات المعلقة صغيرة جداً لدرجة أن الحركة العشوائية لجزيئات الماء تمـــنعها مـــن الترسيب. وتتراوح حجم الحبيبات الغروية بين (10^{-9}m-10^{-6}m) ويعتبر إزالـــة الغرويات من المشكلات الرئيسية فى تنقية مياه الصرف الصحى. وتعتبر معادلة الشـــحنات على الحبيبات الغروية المعلقة بواسطة إضافة كاتيونات عديدة التكافؤ مثل أملاح الحديد والأمونيوم وسيلة فعالة فى تجميع الغرويات غير المرغوب فيها.

الروابط المتكافئة والإلكتروليتات

الإلكتروليتات هى مواد تنتج أيونات ذات شحنات كهربائية قادرة على توصيل الكهرباء فعندما يتكون كلوريد الصوديوم من عناصره يحدث انتقال كامل للإلكترون مـــن ذرة الصـــوديوم إلى ذرة الكلوريـــد وهذا يجعل كلا من الذرتين ذات تركيب الكترونى ثابت وفى نفس الوقت تحمل كلا من الذرتين شحنة فتصبح ذرة الصوديوم ذات شـــحنة موجـــبة (كاتيون) وذرة الكلوريد ذات شحن سالبة (أنيون) وكلا من الأيونـــين يتحدان ببعضهما عن طريق التجاذب الإلكتروستاتيكى ويطلق على الرابطة الموجودة بينهم بالرابطة المتكافئة كهربائيا Electrovalent bond.



شــكل 3-9. تكويــن الرابطة المكافئة الكهربائية فى كلوريد الصوديوم (تمثل الأرقام عدد الألكترونات فى المدارات)

(١) الأحماض القوية

الحمض هو مادة تنتج أيونات الهيدروجين فى الماء وبالتالى تقلل من تركيز أيون الهيدروكســيل. والحمــض القــوى هو الحمض الذى يتأين تماماً فى الماء مثل حمض الهيدروكلوريك:

$$HCl + H_2O = H_3O^+ + Cl^-$$

وكلوريــد الهــيدروجين هو عبارة عن غاز يوجد به رابطة تعاونية قطبية بين ذرات الهــيدروجين والكلوريــد. وبذوبانــه فى المــاء يحدث انتقال الكترون ذرة الهــيدروجين إلى الكلوريــن وتتكون أيونات الهيدرونيوم وأيونات الكلوريد ويمكن بسهولة حساب درجة حموضة pH محلول حمض الهيدروكلوريك حيث أن كل مول مــن الحمــض يعطــى واحد مول من أيونات الهيدروجين فإذا كان تركيز الحمض :cmol/l

$$pH = -\log c$$

فإذا كان التركيز 0.01/mol/l فإن

$$pH = -\log(0.01) = -(-2) = 2$$

(٢) الأحماض الضعيفة

يوجد إتزان بين غالبية الأحماض والماء ويتكون أيون الهيدرونيوم كما يلى:

$$H_2O + \text{حمض} \rightleftarrows H_3O^+ + \text{قاعدة}$$

وتبعا للنظرية العامة للأحماض والقواعد فإن القاعدة تتكون دائماً عندما ينتج الحمض أيونات الهيدرونيوم. ويعرف الحمض بأنه مادة قادرة على تكوين أيونات الهيدروجين مع المذيب بينما القاعدة تعرف بأنها المادة التى تزيل أيونات الهيدروجين من المذيب. فى الماء نجد أن إزاله أيونات الهيدروجين تعنى زيادة فى تركيز أيونات الهيدروكسيل وذلك للحفاظ على حاصل الإذابة الأيونى K_w ثابتا.

وبتطبيق قانون فعل الكتلة على اتزان القواعد والأحماض فى الماء يصبح ثابت الاتزان Ka كما يلى:

$$Ka = \frac{[H_3O^+]\,[base]}{[acid]}$$

وتمثل [ ] التركيز الجزئ أو بتعبير أدق النشاط الديناميكى الحرارى ويمكن التعبير عن Ka لوغارتميا كالآتى:

$$pKa = -\log(Ka)$$

ويقيس pKa قوة الحمض فالحمض الضعيف جداً تكون قيمته Kaله منخفضة أى pKa عالية والعكس صحيح بالنسبة للحمض القوى.

ومثال ذلك الفينول وهو حمض ضعيف جداً تكون pKa له = 10.0 بينما pKa لحمض الخليك الأقوى هو 4.76 والتفاعل التالى بين حمض الخليك والماء يعتبر مثالا للتوازن العام بين القواعد والأحماض.

$$CH_3COOH + H_2O \rightleftarrows H_3O^+ + CH_3COO^-$$

ويعتبر أيون الخلات CH_3COO^- هو القاعدة فى هذا الاتزان ويطلق على هذا الأيون أسم قاعدة base واعتباره محلول خلات الصوديوم فى الماء وبتحلل الملح تماماً

فإن أيون الخلات يتفاعل مع الماء وينتج أيون الهيدروكسيل.

$$CH_3COO^- + H_2O \rightleftharpoons CH_3COOH + OH^-$$

ولما كان الناتج $[OH^-]$ $[H_3O^+]$ = K_w دائماً ثابت فإن زيادة [OH] يعنى نقص $[H_3O^+]$ وزيادة درجة الحموضة pH ويصبح المحلول قلويا.

ودرجـــة الحموضـــة pH لمحلول تركيزة cmol/l (حمض ضعيف فى الماء) يمكن حسابه من نظرية الاتزان الكيميائى.

$$pH = \frac{pKa - \log c}{2}$$

وpH حمض الخليك ذو تركيز 0.01 mol/l يصبح:

$$pH = \frac{4.76 - \log 0.01}{2} = \frac{6.76}{2} = 3.38$$

(٣) القواعد الضعيفة

تـــتفاعل القاعدة مع الماء وتعطى أيونات الهيدروكسيل وبالتالى ينخفض أيونات الهيدرونـــيوم ويزداد الـــ pH وتعتبر خلات الصوديوم مثال للقاعدة وكذلك الأمونيا وعند إذابة غاز الأمونيا فى الماء يتفاعل وينتج أيونات الأمونيوم والهيدروكسيل.

$$NH_3 + H_2O \rightleftharpoons NH_4^+ + OH^-$$

ويعتـــبر أيـــون الأمونـــيوم (NH_4^+) هـــو الحمـــض المصـــاحب للقـــاعدة (الأمونـــيا NH_3) وبإذابـــة ملح مثل كلوريد الأمونيوم فى الماء نجد أن أيون الأمونيوم يتفاعل مع الماء وينطلق أيون الهيدرونيوم وتعطى التفاعل الحمضى التالى:

$$NH_4^+ + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + NH_3$$

وثوابت التحلل للقواعد (Ka^-) تكون:

$$Ka^- = \frac{[H_3O^+][base]}{[acid]}$$

pK_a^- للقواعد الصعيفة تكون منخفضة والعكس صحيح فالأنيلين يعتبر قاعدة ضعيفة جداً ذات $pK_a^- = 4.6$ عند درجة 25°C بينما الأمونيا تعتبر قاعدة قوية ذات $pKa = 9.2$ ودرجة pH المحلول للقاعدة الضعيفة عند تركيز cmo1/ :

$$pH = \frac{pK_w + pKa^- + \log c}{2}$$

وبالتالى درجة pH محلول الأمونيا عند تركيز 0.01 mo1/l تكون:

$$pH = \frac{14 + 9.2 + \log 0.01}{2} = \frac{21.2}{2} = 10.6$$

(٤) الأحماض عديدة القاعدية

بعض الأحماض الهامة تكون عديدة القاعدية بمعنى أنها تأين على أكثر من مرحلة معطية سلسلة من الاتزان فمثلاً اتزان حمض الكربونيك.

$$H_2O + H_2CO_3 \rightleftarrows H_3O^+ + HCO_3^-$$

$$H_2O + HCO_3 \rightleftarrows H_3O^+ + CO_3^{2-}$$

ويـــتكون حمض الكربونيك بذوبان ثانى أكسيد الكربون فى الماء وأول مرحلة للتأين تعطى أيونات البيكربونات ذات $pKa = 6.4$ عند 25°C. والمرحلة الثانية تعطى أيونات الكربونات (حمض ضعيف جداً $pKa = 10.3$) ويتكون أيونات الكربونات فقط فى المحاليل القلوية ويعتبر الاتزان بين أيونات الكربونات والبيكربونات ذات أهمية خاصة من ناحية ترسب كربونات الكالسيوم والمغنسيوم فى المياه الطبيعية.

أيضـــاً حمض الفوســـفوريك H_3PO_4 تتأين على ثلاث مراحل إلى $H_2PO_4^-$، HPO_4^{2-}، PO_4^{3-} ، وقيم pKa لهم بالترتيب 2.1،7.2،12.7.

(٥) المحاليل المنظمة Buffer Solutions

تكـــون درجة الحموضة pH فى المحاليل المنظمة ثابتة عند إضافة كميات صغيرة

مـــن القـــاعدة أو الحمـــض. وتتركب المحاليل المنظمة من إضافة حمض إلى القاعدة المصـــاحبة Conjugate أو القاعدة إلى الحمض المصاحب وخلطهم فى محلول. ويمكن الحصول على أقصى قوة تنظيمية للمحلول وذلك بإضافة كميات متكافئة من الحمض والقـــاعدة وبالتالى يصبح pH المحلول مساوى قيمة pKa للحمض أو pKa^- للقاعدة ومثال ذلك مخلوط حمض الخليك وخلات الصوديوم.

$$pH = pKa + \log [base] / [acid]$$

ولما كان تركيز الخلات مساوى لتركيز حمض الخليك فإن:

$$pH = pKa + \log [sodium\ acetate] / [acetic\ acid]$$
$$pH = pKa = 4.76$$

والـــنوع الثانى من المحاليل المنظمة تتكون من قاعدة ضعيفة والحمض المصاحب مثال ذلك الأمونيا وكلوريد الأمونيوم.

$$pH = pKa^- + \log \left[[ammonia] / ammonium\ chloride \right]$$

عند تساوى التركيز

$$pH = pKa^- = 9.2$$

(٦) درجة حموضة محاليل الأملاح

تـــتفاعل أملاح الأحماض القوية مع القواعد القوية وتتأين تماماً وتذوب فى الماء لـــتعطى محالـــيل طبيعـــية. فأملاح القواعد القوية مع الحمض الضعيف مثل خلات الصـــوديوم تعطـــى محاليل ذات تفاعل قلوى فأيونات الخلات تتفاعل مع الماء لتعطى أيونات الهيدروكسيل:

$$CH_3COO^- + H_2O = CH_3COOH + OH^-$$

مـــن الاتزان الخاص فإن درجة حموضة محلول ذو تركيز cmo1/l للملح اا... يقدر كما يلى:

$$pH = \frac{pK_w + pKa + \log c}{2}$$

وعند تركيز خلات صوديوم 0.01 mol/l فإن:

$$pH = \frac{14 + 4.76 + \log 0.01}{2} = \frac{16.76}{2} = 8.38$$

أما فى حالة الملح الناتج من قاعدة ضعيفة مع حمض قوى مثل كلوريد الأمونيوم فإنـــه يعطـــى محلـــول حمضـــى وتتفاعل أيونات الأمونيوم مع الماء لتعطى أيونات الهيدرونيوم:

$$NH_4^+ + H_2O = NH_3 + H_3O^+$$

ويكون pH المحلول الملح بتركيز cmol/l:

$$pH = \frac{pKa^- - \log c}{2}$$

وإذا كان تركيز كلوريد الأمونيوم فى الماء 0.01 mol/l فإن:

$$pH = \frac{9.2 - \log 0.01}{2} = \frac{11.2}{2} = 5.6$$

(٧) الأملاح ضعيفة الذوبان

تتوقف ذائبية الأملاح شحيحة الذوبان فى الماء على حاصل الإذابة Ks. ويعرف حاصل الإذابة بأنه ناتج التركيز الجزيئ للأيونات من الملح والذى يظل ثابتا فى المحاليل التى فى حالة توازن مع المواد الصلبة غير الذائبة. حاصل إذابة كربونات الكالسيوم فى الماء:

$$Ka = [Ca^{2+}] [CO_3^{2-}]$$

جميع المياة الطبيعية تحتوى على تركيزات متفاوتة من بيكربونات الكالسيوم $Ca(HCO_3)_2$. فـــإذا كـــان تفـــاعل الماء حمضى أو قلوى ضعيف يكون تركيز أيونات الكـــربونات (CO_3^{2-}) التى فى حالة توازن مع البيكربونات منخفضة جداً (pKa for

(CO_3^{2-}=10.3) ومــع ذلــك فعند إضافة القلوى فإن الاتزان يتغير لصالح الكربونات وعندما يكون:

$$[Ca^{2+}]\,[CO_3^{2-}] = Ks$$

فإن كربونات الكالسيوم تبدأ فى الترسيب. وعموما فإن البيكربونات تعتبر غير ثابتة تحت ظروف الحرارة وتتحلل مع أنطلاق غاز ثانى أكسيد الكربون.

$$2\,HCO_3^- = CO_3^{2-} + H_2O + CO_2$$

ونــاتج حاصــل الإذابــة (Ks) لكــربونات الكالســيوم عــند 25°C هو $8 \times 10^{-9}\,(\text{cmol/l})^2$.

(٨) القواعد القوية

تــنأين القواعد القوية مثل هيدروكسيدات الصوديوم والبوتاسيوم تماماً فى الماء وتقــدر درجة حموضة (pH) المحلول الذى تركيزة cmol/l فى الماء نتيجة للتبأين التام كما يلى:

$$[OH^-] = c$$
$$[OH^-]\,[H_3O^+] = K_w$$
$$[H_3O^+] = K_w / c \text{ ،} pH = -\log\,[H_3O^+]$$

لذلك فإن:

$$pH = -\log K_w + \log c$$
$$= pK_w + \log c$$

وبالتالى يصبح درجة pH محلول هيدروكسيد الصوديوم ذو تركيز 0.01mol/l كما يلى:

$$pH = 14 + \log 0.01$$
$$= 12$$

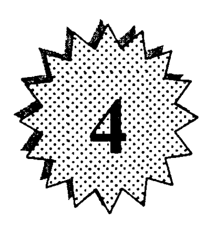


الفصل الرابع

معايير استخدام مياه الصرف الصحى فى الزراعة

- ❖ فوائد استخدام مياه الصرف الصحى فى الزراعة
- ❖ مصادر مياه الصرف وعمليات المعالجة والإستخدام
- ❖ المعايير الهامه عند إستخدام مياه الصرف الصحى فى الزراعة
  - عوامل صحية
  - العناصر الصغرى والمعادن الثقيلة
  - درجة الحموضة
- ❖ المعايير المحددة لصلاحية مياه الصرف الصحى من الناحية الزراعية
  - التركيز الكلى للأملاح
  - نسبة الصوديوم المدمص
  - الأيونات السامة





معايير استخدام مياه الصرف الصحى فى الزراعة

مقــدمــه

نظرا لمحدودية مصادر المياه الصالحة للاستخدام الزراعى وتزايد الطلب على المياه لمواجهـــة الزيادة السكانية المطردة فإن استخدام مياه الصرف الصحى فى الزراعة يعتبر أحد الوسائل الهامة لمعالجة هذه المشكلة.

فاســتخدام مــياه الصرف الصحى فى الزراعة يمكننا من إمداد المحاصيل بالمياه والمغذيــات وفى نفــس الوقــت فإنه يعتبر وسيلة للتخلص من مياه الصرف الصحى بطــريقة آمنه تمنع المشاكل الصحية والمخاطر البيئية التى يمكن أن تنجم عن التخلص العشوائى من مياه الصرف.

فى الظــروف البيئية الجافة وشبه الجافة والتى فيها يتحتم استخدام تقنيات الرى الحديــثة لمواكبة التطور الزراعى فإن أهمية استخدام مياه الصرف الصحى فى الزراعة تعتــبر كــبيرة نتيجة لندرة الأمطار فى المناطق الجافة مثل (مصر ودول الخليج العربى والمكســيك وغــرب وجنوب الولايات المتحدة واستراليا). واستخدام مياه الصرف الصــحى فى الــزراعة هــو أسلوب قديم يمارس منذ زمن طويل ومثال ذلك مزرعة werribee القريبة من مليورن- استراليا والتى تعمل تحت هذا النظام منذ عام 1897.

يخــتلف اســتخدام مياه الصرف الصحى المعالجة كمصدر للرى الزراعى عن

مصادر الرى العادية فيما يلى:

١. ارتفـاع الأكسجين الحيوى المستهلك (BOD وCOD) فى هذه المياه كما أنها تحـتوى عـلى مواد عضوية سامه بتركيزات منخفضة مثل المبيدات والتى قد تسبب مشكلات صحية عديدة.

٢. ارتفـاع تركـيز المواد الذائبة غير العضوية فى هذه المياه بالمقارنة بالمياه الطبيعية مثال ذلك الصوديوم، الكلوريد والبيكربونات (التى تؤدى إلى ملوحة وصودية هـذه المـياه) ومسـتويات مخـتلفة من العناصر الكبرى وخاصة النيتروجين والفوسفور ويجب أخذ ذلك فى الاعتبار لما تمثله من مصدر هام للعناصر الغذائية وأيضـا كمصـدر محتمل لتلوث المياه الجوفية. فى عمليات المعالجة عادة لا يتم التخلص من هذه الأملاح فيما عدا البيكربونات التى تترسب.

٣. ارتفاع تركيز بعض العناصر الصغرى التى يحتاجها النبات (Zn, Mo, Mn, Cu, B) وتواجد العناصر الصغرى الأخرى مثل Hg, Pb, Cd بتركيزات عالية والتى تؤدى إلى سمية النبات.

٤. تواجـد الأحياء الدقيقة الممرضة (البكتريا وفيروسات) فى هذه المياه على الرغم من أن عمليات المعالجة تعمل على خفض تركيزاتها بصورة كبيرة أيضاً تتواجد الطفيليات Parasites (البروتوزوا) فى مياه الصرف الصحى.

ويجب التنويه أنه عند استخدام مياه الصرف الصحى فى الرى الزراعى يجب أن نضـع فى الاعتـبار صـفات المياه المستخدمة والبخر والنتح وطريقة الرى والتسميد والصرف وعمليات أخرى.

الفوائد الاقتصادية من استخدام مياه الصرف الصحى فى الرى الزراعى

مثـــال

مدينة ذات تعداد سكانى 500.000 نسمة وفيها يقدر استهلاك الفرد من الماء

200 l/d تنـتج حـوالى $85.000\ m^3/d$ ($(30Mm^3/year)$) من مياه الصرف الصحى بافتراض أن حوالى أن حوالى 85% من الاستهلاك يذهب إلى نظام الصرف الصحى.

- فإذا افترضنا أن مياه الصرف الصحى المعالجة يمكن استخدامها فى الرى الزراعى بمعدل $5000\ m^3/ha.year$ فإنـه يمكن تبعا لذلك رى مساحة مقدارها 6000 هكتار سنويا.

بالإضافة إلى الأهمية الاقتصادية الواضحة لاستخدام مياه الصرف الصحى فى الرى فإن محـتوى هـذه المـياه من العناصر الغذائية يعتبر هام أيضا. فتركيز المغذيات فى مياه الصرف الصحى المعالجة تكون كالتالى:

Nitrogen (N)	: 50 mg/ l
Phosphorus (P)	: 10 mg/ l
Potassium (K)	: 30 mg/ l

وبافـتراض أن الكمية المستخدمة من مياه الصرف الصحى تقدر $5000\ m^3/ha.year$ فإن تركيز المغذيات فى هذه المياه تعادل:

N -	250 kg/ha.year
P -	50 kg/ha.year
K -	150 kg/ha.year

ولذلك فإن احتياجات المحصول من الأسمدة الفوسفورية والنيتروجينية والبوتاسية يمكـن الحصـول عليها من مياه الصرف الصحى بالإضافة إلى تركيزات أخرى من العناصر الغذائية الصغرى والمواد العضوية.

مصادر ومكونات مياه الصرف الصحى

أ. مصادر مياه الصرف

يقسم مياه الصرف تبعا لمصدر المياه إلى:

١. مياه صرف صحى
٢. مياه صرف صناعى

٣. مياه صرف زراعى

فمـــياه الصـــرف الصحى تنشأ أساساً نتيجة الاستهلاك الآدمى وتحتوى على كمـــيات متفاوته من مياه الصرف الصناعى والأمطار. وتقدر كميات مياه الصرف الـــناتجة بحوالى 80% من الاستهلاك الآدمـــى الكلـــى وتتراوح بين L 300–100 capita^{-1} day^{-1} تـــبعا لمســـتوى المعيشة والمنـــاخ وفصـــول الســـنة. وتقدر مياه الصرف الصناعى المستخدم فى الدول الصناعية بحوالى 10%-6 من الاستهلاك الكلى ومن المتوقع أن تزيد الكمية المستخدمة إلى 25%–20 بنهاية هذا القرن.

ينصح بعمل نظام صرف منفصل خاص بمياه الصرف الصناعى وذلك فى المناطق الصناعية وذلك لاحتوائها على مواد مقاومة للتحلل ويتطلب معاملة كيميائية كما أن مياه الصرف الصناعى تحتوى على ملوثات سامة تتطلب تكلفة عالية لإزالتها . يفضل معاملـــة مياه الصرف الصناعى قبل ذهابها إلى النظام الرئيسي للصرف الصحى إعادة اســـتخدام المـــياه تعتبر وسيلة فعاله فى بعض الصناعات ومع ذلك فتدوير هذه المياه وإعـــادة اســـتخدامها فى الصناعة يعتبر وسيلة غير عملية وذلك لما تطلبه من كميات كبيرة من الماء ووسيلة للتخلص منها ولذلك فإن استخدام هذه المياه فى الرى يعتبر من أفضـــل الحلـــول العملـــية لإعادة استخدام كميات كبيرة من مياه الصرف الصناعى المعالجة.

عـــلى الـــرغم من أن الزراعة تستهلك حوالى 0%-70 من الاحتياجات المائية الســـنوية فى العديد من البلدان فإنها لا تعتبر المصدر الرئيسى لمياه الصرف فأكثر من 95% مـــن المياه المستخدمة فى الزراعة تكون للرى وأغلب مياه الرى تتبخر إلى الجو. وعـــلى الـــرغم من ذلك فإن المياه الجارية المستخدمة فى الزراعة تحتوى على مبيدار وأسمـــدة وتعتـــبر المصـــدر الرئيســـى للـــ eutrophication للبحيرات وتلوث المياه السطحية والمياه الجوفية.

الكمـــية اليومية من المياه الناتجة من مزارع الحيوانات والدواجن تقدر 11 لكل

دجاجـــة، l 30-25 لرأس الغنم، l 150-100 للبقر الحلوب. ومعظم المياه الناتجة من الحيوانات يمكن جمعها ومعاملتها فى المزرعة وإعادة استخدامها.

- **مكونات مياه الصرف الخام Composition of raw sewage**

تــتكون مــياه الصــرف الصحى أساساً من المياه (99.9%) التى تحتوى على تركــيزات منخفضة من المواد الصلبة العضوية وغير عضوية فى صورة ذائبة أو معلقة. وتشـــمل المواد العضوية الموجودة فى مياه الصرف الكربوهيدرات واللجنين والدهون والصابون والمنظفات الصناعية والبروتين ونواتج تحللهم كما تحتوى أيضا على العديد من الكيماويات العضوية المخلقة والطبيعية الناتجة من العمليات الصناعية.

يوضح الجدول رقم (4-1) المستويات الممكن تواجدها فى مياه الصرف فى دول المناطق الجافة وشبه الجافة والتى يكون استعمال واستهلاك الماء فيها منخفض ولذلك نجــد أن مستوى المكونات فى مياه الصرف يكون عالى ومثال ذلك عمان (الاردن) التى فيها معدل استهلاك الماء حوالى 90 L/d لكل شخص.

جدول رقم 4-1. مكونات مياه الصرف الصحى.

المكون	التركيز (mg/l)		
	قوى	متوسط	ضعيف
المواد الصلبة الكلية	1200	700	350
المواد الصلبة الذائبة (TDS)	850	500	250
المواد المعلقة	350	200	100
النيتروجين (كلى)	85	40	20
نترات أمونيوم	50	25	10
نترات	1.5	0.2	0
الفوسفور (P)	20	10	6
الكلوريد	100	50	30
القلوية $CaCO_3$	200	100	50
دهون	150	100	50
BOD_5	300	200	00

المكون	التركيز (mg/l)		
	قوى	متوسط	ضعيف
الصوديوم	25	10	5
كالسيوم + مغنسيوم	150	80	25

BOD_5 هى مقياس المواد العضوية المتحللة فى مياه الصرف

UN Dept. of Technical Cooperation for Development (1985)

جدول 4-2. متوسط تركيب مياه الصرف الصحى فى عمان – الأردن

المكون	التركيز (mg/l)
المواد الصلبة الذائبة	1170
المواد المعلقة	900
النيتروجين (N)	150
الفوسفور (P)	25
القلوية ($CaCO_3$)	850
الكبريتات (SO_4)	90
BOD_5	770
الكربون العضوى الكلى	220

Source: Al - Salem (1987)

كمــا يحــتوى مياه الصرف الصحى أيضاً على العديد من المواد غير العضوية الــناجمة عن الاستخدامات البشرية والصناعية بما فى ذلك العديد من العناصر السامة مثل الزرنيخ والكادميوم والكروم والنحاس والرصاص والزئبق والزنك. (جدول رقم 4-3) وحــتى إذا لم تكن تركيزات هذه العناصر سامة للإنسان فإنها بالقطع تحد من اســتخدام هــذه المــياه فى الزراعة. أيضاً ومراعاة لصحة الإنسان فإن استخدام مياه الصرف الصحى فى الزراعة يجب أن يعالج بحذر لما تحتويه هذه المياه من كائنات دقيقة وطفيليات ممرضة.

جدول 4-3. التركيب الكيميائى لمياه الصرف الصحى فى الإسكندرية والجيزة بجمهورية مصر العربية

المكون	الإسكندرية		الجيزة	
	الوحدة	التركيز	الوحدة	التركيز
EC	dS/m	3.10	dS/m	1.7
pH		7.80		7.1
SAR		9.30		2.8

تابع جدول 4-3.

205	mg/l	24.60	me/l	Na
128	mg/l	1.50	me/l	Ca
96	mg/l	3.20	me/l	Mg
35	mg/l	1.80	me/l	K
320	mg/l	62.00	me/l	Cl
138	mg/l	35.00	me/l	SO_4
		1.10	me/l	CO_3
		6.60	me/l	HCO_3
		2.50	mg/l	NH_4
		10.10	mg/l	NO_3
		8.50	mg/l	P
0.7	mg/l	0.20	mg/l	Mn
0.4	mg/l	1.10	mg/l	Cu
1.4	mg/l	0.80	mg/l	Zn

Source : Abdel-Ghaffar etal. (1988).

جدول 4-4. التركيزات المتوقعة للكائنات الممرضة Pathogenes فى مياه الصرف

التركيز المتوقع فى كل لتر من مياه الصرف		نوع
5000	Enteroviruses	الفيروسات:
?	E- Coli	البكتريا:
7000	Salmonella spp.	
7000	Shigerlla spp.	
1000	Vibrio cholerae	
4500	Entamoeba histolitica	البروتوزوا:
600	Ascaris	:Helminths
32	Hookworms	
1	Schistosoma mansoni	
10	Taenia Saginata	
120	Trichuris trichiura	

Source : Feachem et al (1983)

ويوضح جدول رقم (4-4) تواجد الفيروسات والبكتريا والبروتوزوا فى مياه الصرف الصحى بمستويات متفاوتة كما أن أغلب هذه الطفيليات الممرضة قد تعيش لفترات طويلة جدول (4 – 5).

جدول 4–5. فترة بقاء الطفيليات حية

نوع	زمن بقاء الطفيليات حية			
	فى البراز والمواد الصلبة	فى الماء العذب وماء الصرف	فى التربة	على المحصول
الفيروسات				
Enteroviruses	< 20	<50	<20	<15
البكتريا				
Fecal coliforms	<50	<30	<20	<15
Salmonella spp.	<30	<30	<20	<15
Shigella spp.	<10	<10		<5
Vibrio cholerae	<5	<10	<10	<2
البروتوزوا	<15	<15	<10	<2
Entamoeba histolytica cysts	<15	<15	<10	<2
Helminths Ascaris eggs.	عديدة شهور	عديدة شهور	عديدة شهور	>30

Source : Feachem et al. (1983).

المعايير الهامة عند استخدام مياه الصرف الصحى فى الزراعة

Quality parameters of importance in agricultural use of wastewater

١ – عوامل صحية

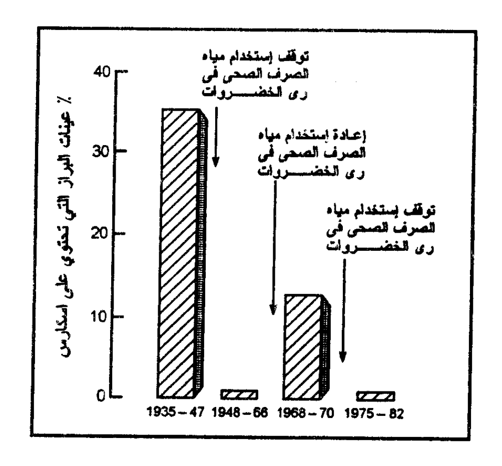
تتواجد الكيماويات العضوية فى مياه الصرف الصحى بتركيزات منخفضة جداً لذلك فإن استخدام مياه الصرف الصحى على المدى الطويل يؤدى بالضرورة إلى تأثير ضار على صحة الإنسان. وخطورة وجود الكيماويات العضوية فى مياه الصرف على صحة الإنسان تنشأ أساساً من تلوث المحاصيل والمياه الجوفية بهذه المواد خاصة العناصر الثقيلة والكيماويات العضوية المسببة للسرطان (جدول رقم 4 - 6).

وقد حددت منظمة الصحة العالمية (1984) القيم المسموح بها من المواد الكيماوية العضوية والسامة (جدول رقم 4-6) فى مياه الشرب وهذه القيم يمكن الاسترشاد بها لتقييم وحماية المياه الجوفية ولكن الخطورة تكمن فى تجميع بعض

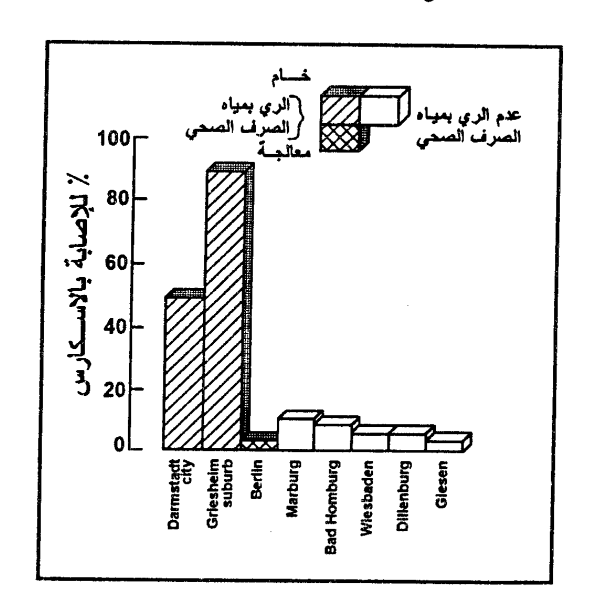
العناصر السامة فى النبات مثل الكادميوم والسلينيوم ولذلك فإن تناول النباتات المروية بواسطة مياه الصرف الصحى بواسطة الإنسان يجب تقييمها بعناية شديدة.

وتعتـــبر **الأحياء الدقيقة الممرضة** ذات خطورة شديدة على صحة الإنسان عند اســـتخدام مـــياه الصـــرف الصحى فى الزراعة ولذلك فقد قامت بعض الدراسات بتقيـــيمها وأثبتت أن المناطق التى تنتشر فيها أمراض الإسكارس تت Trichuris SPP تســـتخدم مـــياه الصرف الصحى غير المعالجة فى رى الخضروات الطازجة التى تؤكل بـــدون طهـــى وأن انتقال هذه الأمراض يتم من خلال استهلاك هذه المحاصيل. وفى دراســـة فى غـــرب ألمانيا تم إثبات ما سبق ذكره وأكثر من ذلك فإن مرض الكوليرا يمكن نقله إلى الانسان من خلال الخضروات المروية بمياه الصرف الصحى (Shuval et al. 1986) (شكل رقم 4 - 1).

توجـــد دلائل قوية على إصابة الحيوانات بمرض Cyticerosis نتيجة الرعى فى مـــراعى مـــروية بمـــياه صرف صحى غير معالجة أو شرب هذه المياه. كما أظهرت الدراســـات فى الهـــند إصـــابة العمـــال الزراعيين بأمراض الاسكارس، الانكلستوما Ancylostoma (hook worm) فى المـــناطق التى تستخدم فيها مياه الصرف الصحى غـــير المعالجة . وتتوقف درجة الإصابة على مدة تعرض هؤلاء العمال لهذه المياه كما أن العمال الزراعيين فى هذه المناطق كانوا أكثر عرضه للإصابة بمرض الكوليرا.



شـــكل رقم **4-1**. نسبة الإسكارس فى براز الانسان نتيجة رى الخضروات بمياه صرف صحى غير معالجة فى مدينة القدس



شكل رقم **4-2**. نسبة الإصابة بالإسكارس فى بعض مدن المانيا نتيجة الرى بمياه صرف صحى غير معالجة.

ونتـــيجة لمـــا سبق فإن الإصابة بالأمراض الطفيلية عند استخدام مياه الصرف الصحى غير المعالجة تعتبر أهم المحاذير التى يجب التنبه لها ومراعاتها.

- تأثير استخدام مياه الصرف الصحى على المعالجة على صحة الإنسان يقسم كما يلى:

تأثير عالى الخطورة: الحتميه الإصابة بأمراض الاسكارس والانكلستوما والتينيا.
تأثير متوسط الخطورة: احتمال الإصابة بأمراض الكوليرا وسالمونيلا وشيجيلا.
تأثير منخفض الخطورة: احتمال ضعيف للإصابة بالفيروسات.

العوامل الميكربيولوجيه الهامة من ناحية صحة الإنسان

(i) Indicator organisms

(a) Coliforms and Faecal Coliforms

وهـــذه المجموعـــة مـــن البكتريا تشمل الأنواع ,Klebsiella, Escherichia Enterobacter, Citrobacter والعديـــد مـــن هذه البكتريا تكون قادرة على النمو خـــارج الأمعاء خاصة فى المناطق الحاره، ولذلك فإن تقديرها يعتبر غير مناسب عند ملاحظة وتقييم مياه الصرف الصحى المستخدم ولذلك ينصح بعمل اختبار Fecal coliform شـــاملا عـــد E.Coli والذى يعتبر من أهم الدلائل التى يجب تقييمها عند استخدام هذه المياه فى الزراعة.

(b) Faecal streptococci

وهـــذه المجموعـــة مـــن الكائـــنات تتضمن أنواع مصاحبه أساساً للحيوانات (strcptococcus bovis and S. equinus) وأنـــواع أخـــرى مـــثل ,S. faecium S. faecalis التى تتواجد فى كل من الإنسان والحيوان بالإضافة إلى نوعين أخرين هما S. facalis var liquefaciens, S. faecalis وتـــتواجد فى البيئة الملوثة وغير الملوثة. وتقديـــر هـــذه الأنواع فى مياه الصرف تعتبر تحليل روتينى يتم عمله ولكن له المحاذير التالـــية: هو أن النتائج المتحصل عليها تشمل non faecal streptococci كجزء من

الفلـــورا الطبيعية الموجودة فى النبات وبالتالى لا يتم تقييم نوعية البكتريا فى المحاصيل المـــرويه بمـــياه الصـــرف. علما بأن S. Faecal streptococci لا تعيش طويلا فى درجات الحرارة العالية.

(c) Clostridium perfringens

وهـــذه البكـــتريا هـــى عبارة عن جراثيم faecal متحوصله لاهوائية عادة ما تســـتخدم للتعرف على التلوث السابق حدوثه للماء وذلك نظرا للفترة الطويلة التى تعيشها هذه الجراثيم.

<u>(ii) Pathogens</u>

الأنـــواع التالـــية من pathogens يمكن تقديرها والتعرف عليها إذا ما توافرت

الأجهزة اللازمة والأفراد المدربين وتشمل:

(a) Salmonella Spp.

العديد من أنواع السالمونيلا تتواجد فى مياه الصرف الضحى غير المعالج والناتجة مـــن المجتمعات المدنيه فى البلاد الأستوائية وتشمل Salmonella typhi (التى تسبب مـــرض التيفويد). ولقد قدر عدد هذا النوع فى مياه الصرف الصحى فى هذه المناطق بحـــوالى I 7000/ بالإضـــافة إلى حوالى I shigellae 7000/، حوالى 1000 vibrio cholera/litre ولحسن الحظ فإن V. cholera, Shigellae Spp لا تعيشان طويلا فإذا تمكـــنا مـــن القضاء على السالمونيلا فهذا يعنى أن الأنواع الأخرى سوف يتم القضاء عليها أيضاً.

جدول 6-4. العناصر غير العضوية والمركبات العضوية ذات الخطورة على صحة الانسان

غير عضوية	عضوية
زرنيخ	Aldrin and dieldrin
كادميوم	بنزين
كروميوم	Benzo- a –pyreno
سيانيد	رابع كلوريد الكربون
فلوريد	Chlordane
رصاص	كلوروفورم

ب

غير عضوية	عضوية
زئبق	2,4D
نترات	DDT
سيلينيوم	1,2 Dichloroethane
	1,2 Dichloroethylene
	Hexachloro benzene
	Lindane
	Methoxychlor
	Pentachlorophenol
	Tetra chlorethylene
	2, 4, 6 Trichlorethytene
	Trichlorophenol

Enteroviruses (b)

وهذه الأنواع تسبب أمراض خطيرة مثل Poliomyelities and Meningitis أو أمـــراض بســـيطة مثل التهاب الشعب. وعلى الرغم من عدم وجود أدله قوية على انتشـــار هذه الأمراض بواسطة نظم الرى لمياه الصرف الصحى إلا أنه من المستحسن عدم المخاطرة وتقييم مدى فعالية عمليات المعالجة المستخدمة فى مياه الصرف الصحى لإزالـــة هـــذه الفيروســـات وبـــالأخص تحت الظروف الأستوائية علما بأن تقدير الفيروسات يتطلب معامل على درجة عالية من الدقة.

Rotaviruses (c)

وهـــذه الفيروسات تسبب مشاكل فى الأمعاء على الرغم من تواجدها بأعداد قليلة فى مياه الصرف الصحى ولكن القضاء عليها أكثر صعوبة من Enteroviruses. ويدعى بعض البحاث أن هذه الفيروسات يتم إزالتها من مياه الصرف الصحى وذلك عـــند التخلص من المعلقات الصلبة حيث أن معظم الفيروسات تكون مصاحبه للمواد الصلبة. ولذلك فإن تقدير المواد الصلبة المعلقه فى مياهه الصرف الصحى المعالجة يجب إجراؤه كروتين.

(d) النيماتودا المعويه Intestinal Nematodes

مـــن المعـــروف أن الإصـــابة بالنيماتودا المعويه وخاصة الإسكارس ينتشر مع

استخدام مياه الصرف الصحى. ويعتبر بيض الاسكارس كبير نوعا (45-70um×35-50um) ولقد تم تطوير العديد من الطرق للتعرف على النيماتودا وتقديرها.

العناصر الصغرى والمعادن الثقيلة

مياه الرى العادية تحتوى على عدد من العناصر بتركيزات منخفضة وهذه العناصر يطلق عليها بالعناصر الصغرى. وهذه العناصر لا يتم عادة تقديرها فى التحليل الروتينى للمياه ولكن عند استخدام مياه الصرف الصحى فى الرى وخاصة اذا ما كانت هذه المياه مخلوطة بمياه الصرف الصناعى فإن هذه العناصر يجب تقديرها. وهذه العناصر تشمل الالومنيوم (Al) والبريلوم (Bc) والكوبالت (Co) والفلوريد (F) الحديد (Fe) والليثيوم (Li) والمنجنيز (Mn) المولبدنوم (Mo) والسيلينيوم (Se) والقصدير (Sn) والتيتانيوم (Ti) والفاناديوم (V).

أما العناصر الثقيلة فهى عبارة عن مجموعة من العناصر التى تسبب مشاكل صحية عند تناولها من خلال النباتات وهذه العناصر تشمل الزرنيخ (As) والكادميوم (Cd) والكروم (Cr) والنحاس (Ca) والرصاص (Pb) والزئبق (Hg) والزنك (Zn)، وهذه العناصر يطلق عليها بالمعادن الثقيلة لأن الصوره المعدنيه لها تكون كثافتها أكبر من 49/cc .

درجة الحموضة

هى دليل حموضة أو قلوية مياه الرى وهى غالبا لا تمثل أى مشكلة ودرجة الحموضة الطبيعية لمياه الرى تتراوح بين 6.5-8.4 ويعتبر درجة الحموضة خارج هذا المدى بمثابة تحذير أن هذه المياه ذات نوعية غير عادية ودرجة الحموضة يتم تقديرها عادة فى التحليل الروتينى عند تقييم مياه الرى.

المعايير المحددة لصلاحية مياه الصرف الصحى
من الناحية الزراعية

١- التركيز الكلى للأملاح (TDS)

يعتــبر التركـــيز الكلى للأملاح من أهم المعايير اللازمة لتقييم نوعية مياه الرى وذلـــك للصـــلة الوثيقة بين ملوحة مياه الرى وملوحة التربه وبالتالى فإن نمو النبات وكمـــية المحصـــول وجودته تتأثر بشدة بالتركيز الكلى للأملاح فى مياه الرى . أيضاً ملوحة ماء الرى تؤدى حتما وبالضرورة إلى ملوحة التربه.

٢- نسبة الصوديوم المدمص (SAR)

يؤثر كاتيون الصوديوم تأثيرا كبيراً فى الخواص الكيميائية والفيزيائية للتربه فهو يعمـــل عـــلى تفـــريق حبيبات التربه عند تواجده بتركيزات عالية بالنسبة لكاتيونى الكالســـيوم والمغنسيوم. وتفرق حبيبات التربه يؤدى إلى خفض معدلات نفاذية الماء والهواء خلال التربه.

وأيضـــاً عند جفاف التربه تتكون قشرة صلبة على سطح التربه مما يجعل عملية حـــرث التربه أمراً صعبا وبالتالى يؤثر على إنبات البذور ومياه الرى يمكن أن تكون مصدراً هاما لزيادة الصوديوم فى التربة وبالتالى يجب تقدير الصوديوم فى مياه الرى.

ومقـــياس خطورة الصوديوم فى مياه الرى يتم تقيمه عن طريق نسبة الصوديوم المدمص SAR

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$$

حيث يتم التعبير عن التركيز بالمليمكافىء /لتر

٣- الأيونات السامة Toxic ions

ماء الرى الذى يحتوى على أيونات معينه بتركيزات أعلى من الحد الحرج يمكن

أن يسبب مشاكل سميه للنبات. وينتج عن سمية النبات نمو ضعيف ونقص فى المحصول وتغيرات فى الشكل الخارجى للنبات وأيضا موت النبات. وتتوقف مدى سمية النبات على المحصول ومرحلة النمو وتركيز الأيون السام والمناخ وظروف التربة.

والأيونات السامة شائعة الوجود فى مياه الصرف الصحى المعالجة وغير المعالجة والموجودة بتركيزات تسبب سمية للنبات هى: البورون، الكلوريد، الصوديوم ولذلك فهذه الأيونات يجب تقديرها عند تقييم صلاحية مياه الصرف الصحى للاستخدام فى الزراعة.

نوعـــية مياه الرى تؤثر تأثيراً كبيراً على المحصول وجودته كما تؤثر أيضا على خصوبة وإنتاجية التربة وحماية البيئة.

وتشـــمل نوعـــية مياه الرى على العديد من الخواص الكيميائية والفيزياء للماء ويوضح الجدول رقم (4-7) الخواص الكيميائية والفيزيائية الهامة التى يجب استخدامها لتقييم نوعية مياه الرى للاستخدام الزراعى.

جدول 4-7. المقاييس المستخدمة لتقييم نوعية المياه للأستخدام الزراعى

المقياس	الرمز	الوحدة
الأملاح الكلية الذائبة	TDS	mg/l
التوصيل الكهربائى	EC	dS/m
درجة الحرارة	T	°C
اللون/ العكاره		N Tu/JTu
عسر الماء		Mg equiv-(CaCO3/l)
المواد الراسبة		g/l
درجة الحموضة	pH	
نوع وتركيز الآنيونات والكاتيونات التالية:		
كالسيوم	Ca^{++}	me/l
ماغنسيوم	Mg^{++}	me/l
صوديوم	Na^{+}	me/l
كربونات	CO_3^{-}	me/l
بيكربونات	HCO_3^{-}	me/l
كلوريد	Cl^{-}	me/l

المقياس	الرمز	الوحدة
كبريتات	SO_4^{--}	me/l
نسبة الصوديوم المدمص	SAR	
البورون	B	mg/l
العناصر الصغرى		mg/l
العناصر الثقيلة		mg/l
النترات	$N\text{-}NO_3$	mg/l
الفوسفات	PO_4	mg/l
البوتاسيوم	K^-	mg/l

1- mg/l = 640 × EC

2- Ntu/Jtu. Nephelometric Turbidity Units/Jackson Turbidity Units

Source: Kandiah (1990 a).

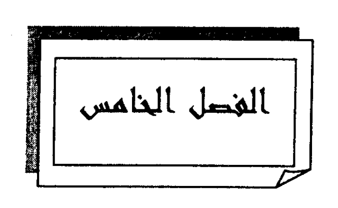
المعايير الزراعية الهامة Parameters of Agricultural Significance

نوعـــية مـــياه الرى تعتبر من العوامل الهامة وخاصة فى المناطق الجافة لارتفاع معدلات البخر.فيها نتيجة ارتفاع درجة الحرارة فيها وقلة الرطوبة النسبية وهذا بالتالى يؤدى إلى ترسيب الأملاح التى تتجمع فى القطاع الأرضى وتعتبر الخواص والفيزيائية للتربة مثل تفرق الحبيبات وثبات الحبيبات المركبة وبناء التربة والنفاذية حساسة لنوع الكاتـــيونات المتـــبادلة الموجـــود فى مياه الرى ولذلك فعند التخطيط لاستخدام مياه الصـــرف الصـــحى فـــإن العديد من العوامل المتعلقة بخواص التربة يجب آخذها فى الاعتبار.

يعتـــبر تأثير الأملاح الكلية الذائبة فى مياه الرى على نمو النبات يعد من المعايير الزراعية الهامة. فالأملاح الذائبة ترفع الجهد الأسموزى لماء التربة وأى زيادة فى الضغط الأسمـــوزى لـــلمحلول الأرضـــى يؤدى إلى رفع كمية الطاقة التى يستهلكها النبات للحصول على احتياجاته المائية من التربة ونتيجة لذلك يزيد التنفس ويقل تبعا لذلك نمو النبات والمحصول.

أيضا كثير من الأيونات غير الضارة وأيضا المفيدة للنبات عند تواجدها فى مياه الرى بتركيزات منخفضة تصبح سامة للنبات عندما يزيد تركيزها فى المحلول الأرضى

وذلـــك نتيجة لتداخل هذه الأيونات مع العمليات الحيوية أو من خلال تأثيرها على المغذيـــات الأخـــرى. ومثال ذلك رى المحصول الأرز بمياه غنية بالنيتروجين يمكن أن يـــؤدى إلى إمداد النبات بأكثر من احتياجاته من النيتروجين والنتيجة نقص محصول الأرز نتـــيجة الـــرقاد lodging وعـــدم نضجه وقلة مقاومته للأمراض كتأثير حتمى للـــزيادة الكـــبيرة فى النمو الخضرى. كما أن محصول الأرز النامى فى تربة غير ملوثة تحتوى على 0.4-0.5 ppm كادميوم ينتج عنه أرز يحتوى على 0.08 ppm بينما زيادة الكادمـــيوم فى التربة إلى Cd ppm 201 و1.25 و0.82 يمكن أن يؤدى إلى أرز ملوث بالكادميوم يحتوى على 1.00 ppm Cd.



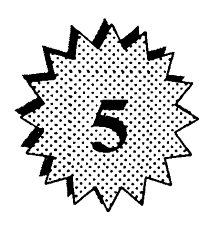
معالجة مياه الصرف الصحى

❖ عمليات معالجة مياه الصرف الصحى

- المعالجة التمهيدية – المعالجة الأولية – المعالجة الثانوية
- عمليات المعالجة البيولوجية

  الحمأة المنشطة – المرشحات البيولوجية – الغشاء البيولوجي – بحيرات الأكسدة
- نظم المعالجة البيولوجية الطبيعية

  بحيرات الأكسدة – استخدام التربة كوسط للمعالجة – المعالجة النباتية
- طرق المعالجة المتقدمة



معالجة مياه الصرف الصحـــى

Waste Water Treatment

الهدف الأساسى من معالجة الصرف الصحى هو التخلص من هذه المياه دون أن يشـــكل ذلك خطراً على صحة الإنسان والبيئة. ولذلك فإن استخدام مياه الصرف الصـــحى فى الزراعة يعتبر وسيلة فعاله للتخلص من هذه المياه مع ضرورة معالجة هذه المياه قبل استخدامها فى رى المحاصيل، أو الحدائق والمزارع المائية ونوعية المياه المعالجة المستخدم فى الأغراض الزراعية تلعب دوراً كبيراً فى نظام التربة-ماء الصرف الصحى المعالج-النبات وكذلك فى نظام المزارع المائية. نوعية المياه المطلوبة سوف تتوقف على نـــوع المحصول المروى والتربة ونظام الرى. فاختيار المحصول تحت هذا النظام واختيار نظام الرى سوف يقلل بالقطع من المخاطر الصحية للإنسان.

وتعتـــبر الطريقة المناسبة التى يجب اتباعها لمعالجة مياه الرى هى تلك الطريقة التى تضـــمن نوعية مناسبة لاستخدام الزراعة بتكلفة بسيطة مع العلم أن استخدام مستوى معالجـــة منخفضـــة يعتبر هو الأفضل بالنسبة للدول النامية ليس من ناحية التكاليف فحسب ولكن أيضاً من ناحية تشغيل نظام المعالجة بكفاءة.

وتصـــميم مشـــروع معالجة مياه الصرف عادة ما يعتمد على خفض محتوى هذه المـــياه مـــن الملوثات العضوية والمواد الصلبة المعلقة. وذلك لخفض تلوث البيئة فإزالة البكتريا الممرضة والفيروسات pathogen لم تكن أحد أهداف عمليات المعالجة ولكن

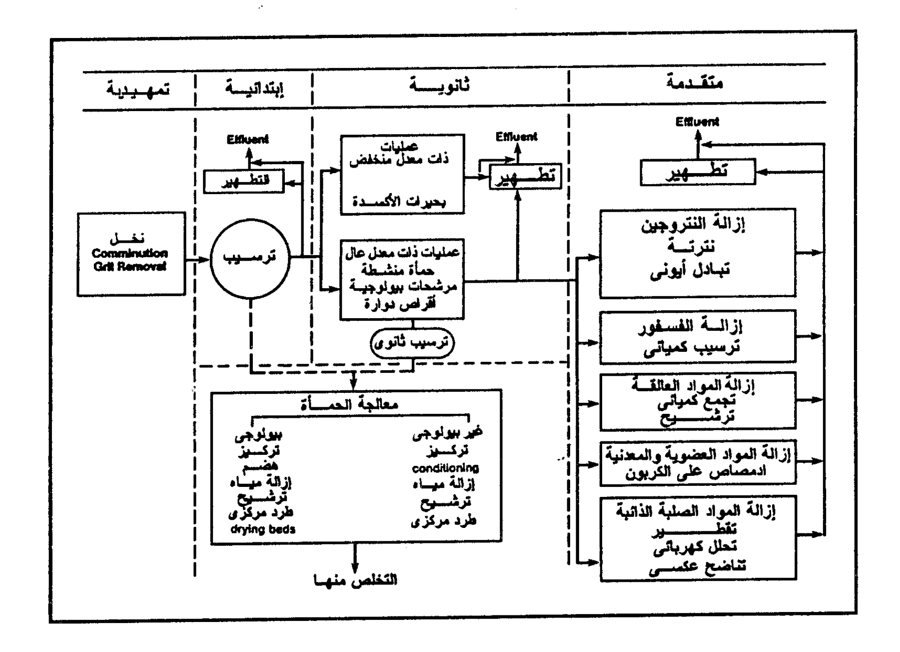
عـــند استخدام مياه الصرف الصحى فى الزراعة فإن إزالة pathogens يجب أن تأخذ الأولويـــة ومـــراعاة ذلك تماما. كما أن إزالة المواد والعناصر السامة للنبات والأسماك والنباتات المائية تعتبر ممكنة تكنولوجيا ولكنها بالقطع عملية غير اقتصادية.

عمليات معالجة مياه الصرف الصحى

معالجـــة مـــياه الصـــرف الصـــحى هى عبارة عن مزيج من العمليات الفيزيائية والكيميائـــية والبيولوجـــية التى تهدف إلى إزالة المواد الصلبة والمواد العضوية وأحياناً المغذيات من مياه الصرف الصحى. والمصطلحات المستخدمة لوصف درجات المعالجة المخـــتلفة مـــن المســـتوى المـــنخفض إلى الأعـــلى هى بالترتيب: المعالجة التمهيدية Preliminary، المعالجـــة الابتدائـــية، المعالجـــة الثانوية Secondary المعالجة الثلاثية Tertiary أو المتقدمة Advanced وفى بعض الدول فإن عملية التطهير disinfiction لإزالـــة pathogens تتبع الخطوة الأخيرة للمعالجة. والشكل رقم (5-1) يوضح رسم تخطيطى لعمليات المعالجة.

١ــ المعالجة التمهيدية Preliminary Treatment

تهـــدف المعالجة التمهيدية إلى إزالة المواد الصلبة الكبيرة التى عادة ما تتواجد فى مـــياه الصرف الصحى وتشمل هذه العملية استخدام المصافى screening لحجز المواد الصـــلبة الكبيرة ثم إزالتها grit removal وفى غرف الإزالة يتم إمرار الماء أو الهواء فى هـــذه الغرفة بسرعة عالية وتثبت هذه السرعة وذلك لمنع ترسيب الرواسب العضوية. وفى مشاريع المعالجة للمجتمعات الصغيرة فإن إزالة المواد الصلبة لا يتم فى هذه المرحلة وأنما تقتصر المرحلة الابتدائية على خفض الأحجام الكبيرة من الحمأة التى سوف يتم إزالتها فى مراحل لاحقة.



شكل 5-1. رسم تخطيطى يوضح عمليات معالجة مياه الصرف الصحى

٢ــ المعالجة الأولية Primary Treatment

وتهــدف هـــذه المرحلة إلى إزالة المواد الصلبة العضوية وغير العضوية عن طريق الترســيب وأيضــاً إزالـــة المواد الطافية بالقشط. وفى هذه المرحلة يتم إزالة حوالى 25–50%مـــن الأكســجين الحيوى المستهلك (BOD_5) و50-70% من المواد الصلبة العالقـــة (SS)،65% مـــن الـــزيوت والدهـــون وأيضـــا بعض النيتروجين العضوى والفوســفور العضوى والعناصر الثقيلة المصاحبة للمواد الصلبة فى حين أن المكونات الفـــرديه والذائبة لا تتأثر والمخلفات السائلة الناتجة من المعالجة الأولية غالبا ما يطلق علـــيها المخلفـــات السائلة الأولية Primary effluent. ويوضح الجدول رقم (5-1) نوعية وصفات المخلفات السائلة الأولية الناتجة من بعض مشاريع معالجة مياه الصرف

الصحى فى كاليفورنيا وكذا نوعية مياه الصرف الصحى غير المعالجة.

جدول 5-1. نوعية وصفات مياه الصرف الصحى غير المعالجة والمخلفات السائلة الناتجة من المعالجة الأولية فى بعض مشاريع المعالجة فى كاليفورنيا

مقياس النوعية	مدينة Davis		مدينة Los Angles	
	مياه صرف غير معالجة	المخلفات السائلة الأولية	مياه صرف غير معالجة	المخلفات السائلة الأولية
الأكسجين الحيوى المستهلك (BOD_5)	112	73	-	204
الكربون الكلى العضوى	63	40	-	-
المواد الصلبة المعلقة	185	72	-	219
النيتروجين الكلى	43	34	-	-
NH_3-N	26	35	-	39.5
NO_3-N	0	0	-	-
الفوسفور الكلى	-	7.5	-	4.2
Ca	-	-	78.8	-
Mg	-	-	25.6	-
Ka	-	-	357	-
K	-	-	19	19
SO_4-	-	-	270	-
Cl	-	-	397	-
EC ds/m	2.52	2.43	2-19	-
المواد الصلبة الذائبة	-	-	1404	1406
نسبة الصوديوم المدمص (SAR)	-	-	8.85	6.8
البورون	-	-	1.68	1-5
القلويه	-	-	322	332
عسر الماء	-	-	265	-

وفى كثير من الدول الصناعية فإن المعالجة الأولية تعتبر أقل مستوى يمكن تطبيقه لمعالجة مياه الصرف الصحى التى تستخدم فى الزراعة وهذه المرحلة من المعالجة قد تكون كافية إذا ما تم استخدام المياه الناتجة من المعالجة الأولية فى رى محاصيل لا

يســتهلكها الإنســان. ولمنع تلوث البيئة من غرف التخزين فإن كثير من هذه الدول تقــوم بعمــل بعض أنواع من المعالجة الثانوية حتى لو كانت المياه تستخدم فى رى محاصيل لا تستهلك بواسطة الإنسان.

وخــزانات الترسيب الأولية عادة ما تكون على شكل دائرى أو مستطيل ذات عمق 3.5 cm زمن إدمصاص هيدروليكى 3-2 ساعة. ويتم إزالة المواد الصلبة الراسبة (الحمأة الأولية) من قاع الأحواض بوسائل ميكانيكية ونقلها إلى بئر مركزى ومنه يتم ضخها إلى وحدات معالجة الحمأة.

وفى المشــاريع الكــبرى للصرف الصحى ($77600\ m^3/d$) فإن الحمأة الأولية يتم معالجــتها بيولوجيا بواسطة الأكسدة اللاهوائية (anaerobic digestion). وفى هذه العملــية تقــوم البكتريا اللاهوائية بتحليل المواد العضوية فى الحمأة وبالتالى تقلل من حجــم الحمأة المراد التخلص منها. وعملية الأكسدة يتم إجراؤها فى أحواض مغطاه ذات عمــق يــتراوح مــن 7-14m. والغــاز الناتج من عملية الهضم يحتوى على 60-65% ميثان ويمكن استخدامه كمصدر من مصادر الطاقة أما فى مشاريع الصرف الصغيرة فإن الحمأة يتم معالجتها بعدة طرق منها الأكسدة الهوائية، التخزين فى بحيرات Lagoon الأكسدة أو إضافتها مباشرة إلى التربة.

٣- المعالجة الثانوية

تهــدف المعالجة الثانوية إلى معالجة الناتج السائل الابتدائى لإزالة البقايا العضوية والمــواد المعلقة. وفى أغلب الحالات فإن المعالجة الثانوية تتبع المعالجة الابتدائية وتشمل إزالــة المواد الذائبة القابلة للتحلل والمواد الغروية العضوية باستخدام عمليات المعالجة البيولوجــية الهوائــية. وتــتم المعالجة البيولوجية الهوائية فى وجود الأكسجين وذلك باستخدام البكتريا الهوائية التى تقوم بتحلل المواد العضوية فى مياه الصرف.

جدول 5-2. خواص النواتج السائلة من المعاملة الابتدائية (المدى والمتوسط)

المكون	التركيز	
	المدى	المتوسط
النواتج الصلبة		
الكلية الذائبة	200-1500	500
الكلية المعلقة	50-150	100
BOD	65-200	135
COD	150-750	335
النيتروجين		
الكلى	10-60	40
الأمونيا	7-40	30
النترات	-	<0.1
الفوسفور الكلى	5-17	8

وينـــتج عن ذلك زيادة فى أعداد البكتريا ونواتج غير عضوية خاصة ثانى اكسيد الكـــربون، أمونيا وماء. ويوجد العديد من الطرق البيولوجية الهوائية التى تستخدم فى عملـــية المعالجة الثانوية وهذه الطرق تختلف فيما بينها أساسا فى كيفية إمداد البكتريا بالأكسجين ومعدل تحلل المواد العضوية بواسطة الكائنات الحية الدقيقة.

وفى العملـــيات البيولوجـــية ذات المعدل العالى يتم استخدام تركيزات عالية من البكـــتريا وذلـــك بالمقارنة بالعمليات البيولوجية منخفضة المعدل. وبالتالى فإن معدل تكون البكتريا فى العمليات البيولوجية عالية المعدل يكون أعلى كما أن البكتريا يجب فصـــلها عـــن مياه الصرف المعالجة بالترسيب وذلك للحصول على ناتج ثانوى رائق ويطلـــق على خزانات الترويق Secondary Calrifiers ويطلق على المخلفات الصلبة التى يتم إزالتها خلال المعالجة الثانوية اسم الحمأة الثانوية أو البيولوجية وهذه عادة ما تخلط مع الحمأة الأولية.

وتشمل عمليات المعالجة البيولوجية عالية المعدل الأتى:

أ. الحمأة المنشطة Activated sludge

ب. المرشحات البيولوجية Trickling filters

ج. الغشاء البيولوجى الدوار rotating biological contractors

د. بحيرات الأكسدة Oxidation ditches

فى بعض الحالات قد يستخدم عمليتين من العمليات السابقة على التوالى ومثال ذلك المرشحات البيولوجية التى تتبع استخدام الحمأة النشطة وذلك لمعالجة مياه الصرف ذات المحتوى العالى من المواد العضوية التى يكون مصدرها الصرف الصناعى.

<u>التحولات البيوكيميائية فى طرق المعالجة غير الهوائية</u>

مواد عضوية معقدة

(كربوهيدرات — بروتين — ليبيدات)

تحلل مائى

↓

مواد عضوية بسيطة

سكريات — أحماض أمينيه — ببتيدات

↓ بكتريا التخمر

أحماض دهنية متطايرة

↓

بكتريا الخلات المنتجة للهيدروجين

هيدروجين وثانى اكسيد الكربون ← → خلات

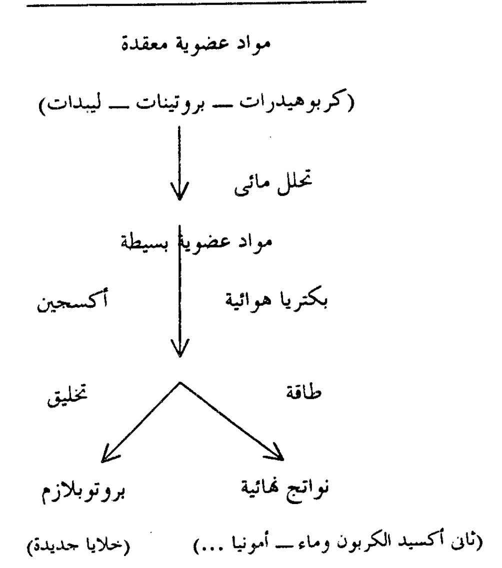
بكتريا الخلات مستهلكة للهيدروجين

↓

ميثان وثانى أكسيد الكربون

Hydrogen using Methanogenic Bacteria

Aceto clastic Methanogenic Bacteria



جـــدول 5-3. خواص النواتج السائلة الثانوية فى بعض مشاريع معالجة مياه الصرف الصحى بكاليفورنيا

القيـــــاس (mg/l)	موقـــع المشروع	
	المرشحات البيولوجية	الحمأة النشطة
	Chino Basin	Santa Rosa
الأكسجين الحيوى المستهلك (BOD_5)	21	-
الأكسجين الكيميائى المستهلك	-	27
المواد الصلبة المعلقة	18	-
النيتروجين الكلى	-	-
NH_3-N	-	-
NO_3-N	25	10
نيتروجين عضوى	-	1.7
الفوسفور الكلى	-	12.5
Ca	43	41

تابع جدول 3-5.

Mg	12	18
Na	83	94
K	17	11
HCO_3	293	165
SO_4	85	66
Cl	81	121
المواد الصلبة الذائبة	476	484
SAR	2.9	3.9
البورون	0.7	0.6
عسر الماء الكلى	156	175

أ – الحمأة المنشطة Activated sludge

فى طـــريقة الحمأة المنشطة تتم معالجة المخلفات السائلة بعد خلطها بنسبة معينة مـــن الحمـــأة المنشطة فى وحدات المعالجة وهى عبارة عن أحواض تهوية تحتوى على معلق من مياه الصرف الصحى والبكتريا الهوائية ويتم خلطهم بواسطة تيار من الهواء الذى يعتبر أيضا مصدراً للأكسجين وتتم عملية التهوية عن طريق:

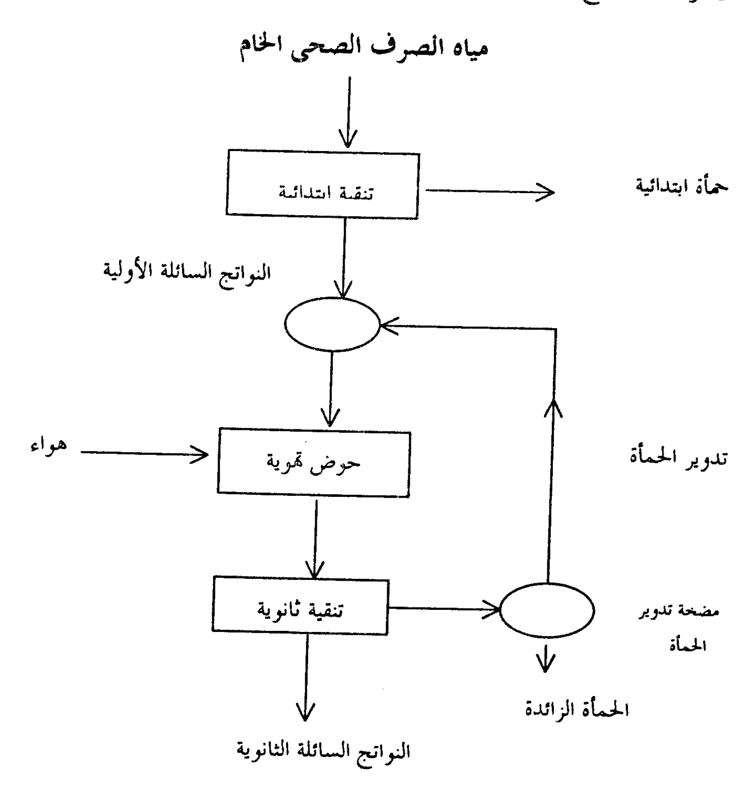
١. اســـتعمال هواء مضغوط يخرج على شكل فقاعات من فتحات فى شبكة مواسير فى قاع الحوض.

٢. اســـتعمال قلابات ميكانيكية تحدث اهتزازات فى سطح الماء مما يمكن الهواء من أن يتخلل المخلفات السائلة.

ولنجاح المعالجة بهذه الطريقة لابد من إضافة الحمأة المنشطة السابق ترسيبها فى أحـــواض الترســـيب النهائـــية نظـــراً لما تحتويه هذه الحمأة من الملايين من البكتريا والكائـــنات الدقـــيقة الأخرى التى هى العامل الرئيسى لنجاح عملية التنقية. ويستمر نشـــاط البكتريا وأكسدها للمواد العضوية طالما يوجد فى وحدات المعالجة أكسجين ذائب ومواد عضوية تكفى لنشاط ونمو الكائنات الحية الدقيقة.

وبعـــد انـــتهاء فترة التهوية يتم فصل الكائنات الحية الدقيقة والمواد العالقة غير

القابلـــة للـــتحلل عـــن طريق الترسيب حيث يمر الخليط بأحواض الترسيب النهائى فتترســـب الحمـــأة ليعود بعض منها إلى حوض التهوية بينما يوجه الباقى لأحواض معالجـــة الحمأة ثم التخلص منها وتتميز طريقة الحمأة المنشطة بأن قدرتها على التنقية عالية ولكنها تحتاج إلى كفاءة تشغيل عالية والمساحة



شكل 2-5. رسم تخطيطى يوضح خطوات عملية الحمأة المنشطة

المطلوبـــة لهذه الطريقة صغيرة حوالى $50\ m^2\ (10^3\ m^3\ day^{-1})^{-1}$ ويوضح الشكل رقم (2-5) خطوات عملية الحمأة المنشطة.

طرق التهوية فى عملية الحمأة النشطة

كما سبق ذكره تجرى عملية التهوية فى أحواض خاصة يلتقى فى مدخلها السوائل الخارجة من حوض الترسيب الابتدائى مع الحمأة المعادة من حوض الترسيب النهائى وتستغرق عملية التهوية فترة تتراوح بين 8-4 ساعات تنشط فيها البكتريا الهوائية وتعمل على تحلل المواد العضوية.

وتتم عملية التهوية والتقليب فى أحواض التهوية بطريقة الهواء المضغوط compressed air أو بطريقة التهوية الميكانيكية mechanical aeration ويمكن تحديد المهام التى يؤديها حوض التهوية إلى ثلاث مراحل:

١. التدوير Clarification

وتتميز بالتجاذب السريع من حبيبات المواد العضوية وتستغرق فترة تتراوح بين 45 – 15 دقيقة.

٢. التنشيط Activation

وفيها يتم تنشيط البكتريا نتيجة حصولها على كميات كافية من الأكسجين وفى هذه المرحلة تحدث عملية أكسدة المواد العضوية بسرعة عالية فى البداية ثم تبطأ قليلا لفترة تتراوح من 5 – 2 ساعات ثم تقل عملية الأكسدة بعد ذلك.

٣. النترته Nitrification

وتبدأ هذه المرحلة بعد انتهاء عملية الترويق وبعد بداية عملية الأكسدة بفترة قصيرة وتتم هذه المرحلة فى غضون ثمان ساعات.

وفى طريقة الحمأة المنشطة كما سبق ذكره يجب أن تكون كفاءة التشغيل عالية ومن أهم العوامل التى يجب الاهتمام بها عند التشغيل ما يلى:

١. التغير فى معدل تصرفات مياه المجارى التى تدخل محطة المعالجة.

٢. التغير فى تركيز المواد العضوية.

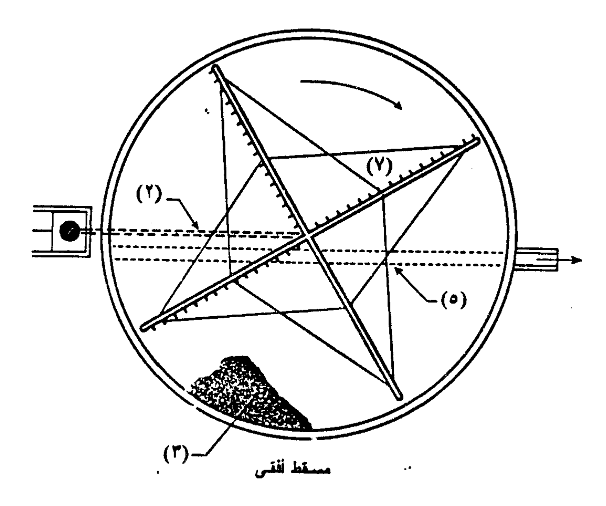
٣. تركيز المواد العالقة بأحواض التهوية.

٤. تركيز الأكسجين الذائب فى أحواض التهوية.

٥. كفاءة التقليب فى أحواض التهوية.

ب- المرشحات البيولوجيه Trickling filter

تـــتكون المرشــحات البيولوجـــيه من أحواض مستطيلة أو دائرية تملأ بالزلط أو بأشكال بلاستيكية ويضاف مياه الصرف الصحى إلى هذه الأحواض بصورة متقطعة ويــتم ذلك بواسطة رشاشات مثبتة على سطح المرشح وعند سقوط المياه على سطح المرشـــح تتخلل فجوات الزلط أو الحجارة أو الأشكال البلاستيكية وتلتصق الكائنات الحية الدقيقة بأسطحها وتكون طبقة حيويه أو غشاء حيوى. ويتركز النشاط الحيوى عـــلى هذه الطبقة وباستمرار مرور مياه المجارى على أسطح الزلط يزداد سمك الطبقة البيولوجـــيه ويكون الجزء الداخلى منها بعيدا عن نشاط البكتريا اللاهوائية وما ينتج عنه من غازات مثل ثانى أكسيد الكربون الذى يساعد مع المياه المتساقطة على غسيل الطـــبقات البيولوجـــيه من على أسطح الزلط. وبذلك تخرج الطبقات البيولوجيه إلى أحـــواض الترسيب الثانوية وتكتسب مياه المجارى الأكسجين أثناء رشها على سطح المرشـــح بالإضـــافة إلى أن نشـــاط الكائنات الحية داخل المرشح يرفع درجة الحرارة بداخلـــه فتخف كثافة الهواء ويأخذ مسارا من أسفل إلى أعلى ويحل محله هواء جديد ويطلق على السائل الناتج من عملية التنقية الثانوية اسم السائل الثانوى وعادة ما يتم إعـــادة تدويـــر جـــزء منه إلى المرشح البيولوجى لتحسين التوزيع الهيدروليكى لمياه الصرف فوق المرشح شكل (5-3).

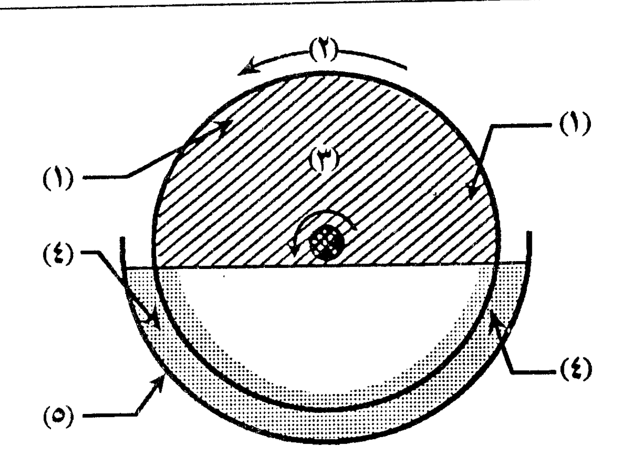


شكل 5-3. قطاع رأسى فى أحد المرشحات البيولوجيه

١- غرفة إمداد المرشح بالمياة. ٤- قوالب مفرغة لتجميع المياة. ٥- قناة التجميع.
٢- ماسورة تغذية المرشح. ٦- فراغات التهوية.
٣- زلط أو كسر حجازة أو مواد أخرى. ٧- الأذرع الموزعة لمياة على سطح.

ج- الأقراص البيولوجيه الدوارة Rotating Biological Contractors

وهى عبارة عن أقراص دائرية خفيفة الوزن تدور ببطء وتكون مغمورة جزئياً فى مياه المجارى المتدفقة إلى الحوض. وعمل هذه الأقراص يشابه عمل المرشحات البيولوجية من حيث التصاق الكائنات الحية الدقيقة على أسطح هذه الأقراص مكونه طبقة بيولوجية تقوم بعملية المعالجة مع غمر الأقراص فى المجارى. وسمك الطبقة البيولوجيه تتراوح بين 4-1سم وعندما تزيد سمك الطبقة البيولوجيه إلى حد معين تسقط وتنفصل من سطح الأقراص مع دوران الأقراص. وتستمر الأقراص الدوارة حاجتها من الأكسجين عند دورانها فتأخذ الأكسجين من الهواء عندما تكون خارج المياه ومن السائل عندما تكون مغمورة فى الماء. حيث أن الأكسجين ينتقل إلى مياه المجارى نتيجة التيارات الهوائية التى تحدثها دوران الأقراص شكل (5-4).



شكل 5-4. يوضح الأقراص البيولوجيه وقطاع توضيحى فيها
١- سطح الأقراص تعطى بالكائنات الحية الدقيقة. ٢- إتجاه الدوران.
٣- المساحة المعرضة للتهوية. ٤- المخلفات السائلة.
٥ - حوض نصف أسطوانى للمخلفات السائلة.

د- نظم المعالجة البيولوجيه الطبيعية

تعتبر نظم المعالجة البيولوجيه الطبيعية من الطرق منخفضة التكاليف التى تتطلب مستوى تشغيل عادى وهى غالبا ما تكون فعاله فى إزالة البكتريا والفيروسات المرضه إذا ما تم تنفيذها وتصميمها جيداً. وتشمل نظم المعالجة البيولوجيه الطبيعية:

(i) بحيرات الأكسدة Stabilization ponds
(ii) معالجة الأراضى
(iii) المعالجة بواسطة النباتات
(iv) الغشاء المغذى

ولقد تم استخدام بحيرات الأكسدة ومعالجة الأراضى بنجاح فى أماكن كثيرة من العالم أما تقنية الغشاء المغذى فتعتبر تقنية جديدة لتنمية النبات فى المحلول المغذى

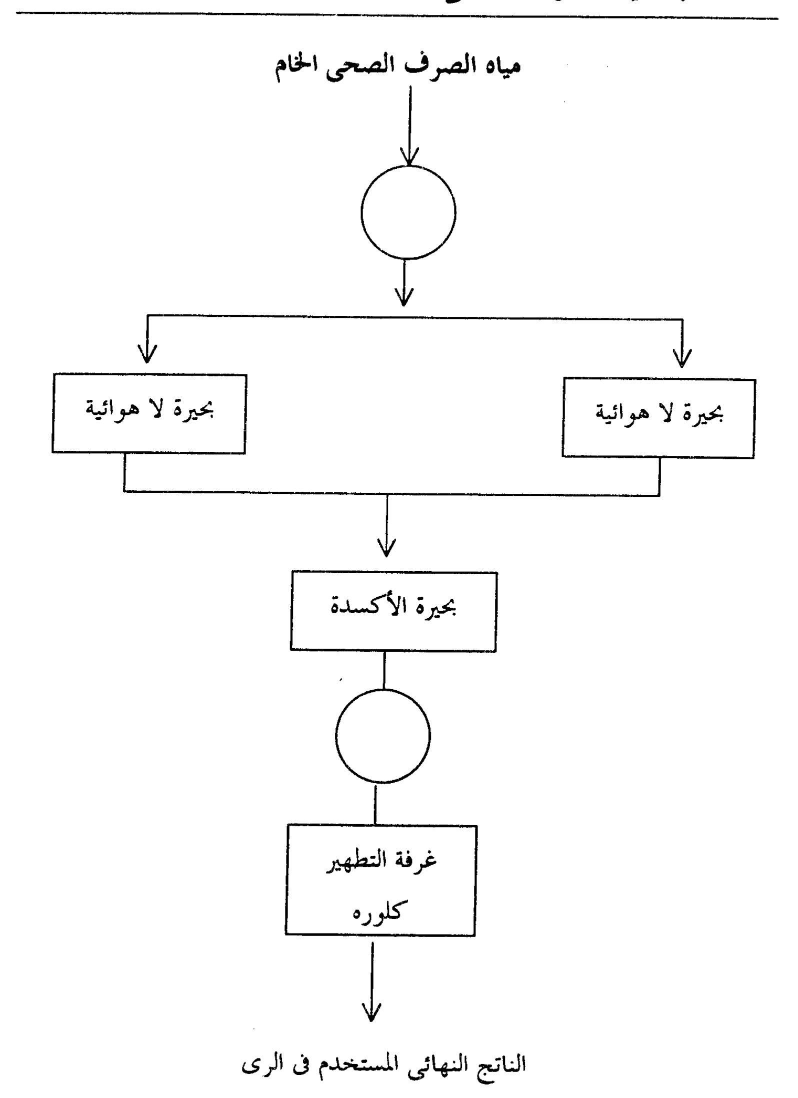
مع إمكانية تطبيقها فى معالجة واستخدام مياه الصرف الصحى.

(i) بحيرات الأكسدة Oxidation ponds

وتعتبر من أبسط عمليات المعالجة الثانوية البيولوجيه حيث يتم الإمداد بالأكسجين بواسطة التهوية السطحية الطبيعية وايضا بواسطة الطحالب خلال عملية التمثيل الضوئى. وفى هذه المعالجة يتم استهلاك العناصر الغذائية الموجودة بمياه الصرف الصحى. فالأكسجين الذى تستهلكه البكتريا فى تحلل المواد العضوية والعناصر الغذائية المنطلقة يتم استهلاكها بواسطة الطحالب مكونة بذلك دوره تكافليه. وهذا النوع من المعالجة يناسب المجتمعات الريفيه والمدن الصغيرة (حوالى 40.000 نسمة) فى المناطق الحاره والمعتدلة شكل (5-5).

ويوضح الشكل (5-5) خطوات المعالجة باستخدام بحيرات الأكسدة حيث يتم ضخ مياه الصرف الصحى الخام إلى بحيرات صغيرة لاهوائية وذلك لترسيب الحمأة فى القاع. وعادة ما يتم تصميم هذه البحيرات فى أزواج متوازية حتى يمكن إزالة الحمأة من إحداها بينما تعمل الأخرى وسعة البحيرة تتراوح بين 500 – 2500 kg BOD_5 $ha^{-1}day^{-1}$ ويتراوح عمق البحيرة بين 1.5-4.0 متر ومعدل التحلل البيولوجى اللاهوائى يزيد عادة بزيادة درجة الحرارة من 14–40°C أما عند درجة حرارة 12°C فإن معدل التحلل يتوقف تماما.

ويتم ضخ الناتج السائل الابتدائى من البحيرات اللاهوائية (نخفض محتوى BOD_5 بحوالى 50-60%) إلى سلسلة من البحيرات الهوائية التى تكون فيها الطبقة العليا هوائية والسفلى لاهوائية.



شكل 5-5. رسم تخطيطى يوضح عملية المعالجة فى بحيرات الأكسدة

ويـــتوقف سمـــك الطـــبقة الهوائـــية فى بحيرات الأكسدة على درجة الإمداد بالأكسجين وعادة ما تكون البحيرة الأخيرة فى السلسلة هوائية تماما.

فى بعض المجتمعات الصغيرة تكون عملية المعالجة ناجحة تماما باستخدام بحيرة لا هوائـــية يتبعها بحيرة أكسدة واحدة ذات عمق ضحل (1.2-1.5m) يضمن الظروف الهوائية. وسعة بحيرة الأكسدة من المواد العضوية يكون حوالى $150\ kg\ BOD_5\ ha^{-1}\ day^{-1}$ مـــع فترة بقاء تتراوح بين 10-7 أيام ويتم فى كثير من الحالات ضخ السائل الناتج من بحيرة الأكسدة إلى خزان لمدة 4-2 أيام لتحسين نوعية السائل الناتج . وإذا ما تم تزويد مخارج البحيرة بمرشح بيولوجى ثم تطهير المياه بالكلور بعد ذلك فإن المياه الناتجة تصبح صالحة تماما لدى المحاصيل الزراعية.

أمـــا بالنســـبة للمجتمعات ذات الكثافة السكانية العالية (100.000نسمة) فإن اســـتخدام الـــبحيرات المهواه Aerated lagoons تكون أفضل وفى هذه الطريقة يتم تزويد البحيرات بالأكسجين بواسطة وحدات تهويه.

عملـــيات المعالجة البيولوجية بالإضافة إلى المعالجة الابتدائية يمكنها إزالة حوالى 85% مـــن الأكسجين الحيوى وأيضا بعض العناصر الثقيلة. علما بأن المياه الناتجة من اســـتخدام طـــريقة الحمـــأة المنشطة تكون ذات نوعية أعلى من الطرق البيولوجية الأخـــرى. وعـــند تطهير النواتج السائلة باستخدام الكلور يمكن التخلص من حوالى 99% مـــن البكـــتريا والفيروسات الممرضه وعلى الرغم من ذلك فإن الأعداد المتبقية تكـــون عالية جداً وقد تصل إلى $10^5/100ml$. وأيضا يجدر الإشارة إلى أن عمليات المعالجـــة البيولوجـــيه يمكـــنها فقط إزالة جزء صغير جداً من الفوسفور والنيتروجين والمعـــادن الذائبة العضوية غير المتحللة. ويوضح الجدول رقم (4-5) نوعية المياه الناتجة من بعض هذه الطرق.

وقـــد أوصـــى تقرير البنك الدولى (Shuval et al., 1986) استخدام بحيرات الأكسدة كأفضل نظام لمعالجة مياه الصرف الصحى التى تستخدم فى الزراعة فى الدول

النامـــية حيـــث تكون الأراضى متوفرة بسعر معقول ولأنها لا تتطلب مهارة عالية فى التشـــغيل ويوضح الجدول رقم (5-5) مقارنة بين مميزات وعيوب الطرق البيولوجية المختلفة المستخدمة فى معالجة مياه الصرف الصحى.

جدول رقم 5-5. تقييم طرق المعالجة البيولوجية

	الخاصية	الحمأة النشطة	الترشيح البيولوجلى	بحيرات الأكسدة
كفاءة المعالجة	إزالة BOD	متوسطة	متوسطة	جيدة
	إزالة كوليفورم	ضعيفة	ضعيفة	جيدة
	إزالة المواد الصلبة	جيدة	جيدة	متوسطة
	إزالة Helminth	متوسطة	ضعيفة	جيدة
	إزالة الفيروسات	متوسطة	ضعيفة	جيدة
عوامل إقتصادية	تكلفة إنشاء بسيطة	ضعيفة	ضعيفة	جيدة
	سهولة تشغيل	ضعيفة	متوسطة	جيدة
	الإحتياجات من الأراضى	جيدة	جيدة	ضعيفة
	تكلفة الصيانة	ضعيفة	متوسطة	جيدة
	الطاقة المطلوبة	ضعيفة	متوسطة	جيدة
	إزالة الحمأة	متوسطة	متوسطة	جيدة

(ii) استخدام التربه كوسط لمعالجة مياه الصرف الصحى

Land Treatment

يتم إضافة المخلفات العضوية ومياه الصرف إلى الأراضى منذ زمن بعيد كوسيلة للـــتخلص من المخلفات. وتعتبر إضافة مياه الصرف الصحى إلى الأراضى آمنة وفعاله إذا ماتم إضافتها بالطرق العلمية الصحيحة المصممة خصيصا لذلك.

ويعتـــبر استخدام مياه الصرف الصحى فى رى الأراضى الزراعية جزء من نظم إضافة مياه الصرف الصحى إلى الأراضى.

وتعمـــل كلا من التربه والنباتات كمرشح حيوى living filter يمتص ويحتجز الملوثـــات والكائـــنات الحـــية الممرضه الموجودة فى مخلفات ومياه الصرف الصحى.

فإضافة مياه الصرف الصحى المعالجة جزئيا إلى التربه ينتج عنها معالجة لهذه المياه حيث يتم خفض تركيزات المركبات العضويه وغير العضويه وكذلك مستويات الكائنات الحية الدقيقة الضاره بها إلى مستويات مقبولة مما يتيح فرصة إعادة استخدامها بطريقة آمنة وفعاله.

والانتقادات الرئيسية التى توجه إلى نظم إضافة المخلفات إلى التربه ترتكز على العوامل التالية:

١. الخطورة على الصحة العامه مثل إنتقال البكتريا والفيروسات الممرضه إلى الإنسان والحيوان.

٢. تأثير إضافة المخلفات فى المدى الطويل على الخواص الفيزيائية والكيميائية للتربه.

٣. عدم قبول المستهلك للمحاصيل المنتجة باستخدام مياه الصرف الصحى فى الرى.

التربه باعتبارها نظام ديناميكى حى تتميز بإمتلاكها سطح نشط جداً وتجرى فيها عمليات فيزيائية وكيميائية وبيولوجية متكاملة تتفاعل بقوة مع مكونات مياه الصرف الصحى ويمكن للتربه أن تحد بفعالية من البكتريا والبروتوزرا التى تصل إليها عند إضافة مياه الصرف الصحى خاصة تلك الناتجة من المعاملة الثانويه. وتتراوح فترة بقاء الكائنات الحية الممرضه فى التربه من أيام إلى شهور وهذا يتوقف على نوع الكائنات الحيه وظروف التربه ويجب أن يؤخذ ذلك فى الاعتبار عند تصميم نظام إضافة مياه الصرف الصحى إلى التربه.

والمركبات العضويه التى تضاف مع مياه الصرف الصحى إلى التربه تتحلل إلى ثانى أكسيد الكربون وماء ومركبات غير عضويه. والمركبات غير العضويه فى مياه الصرف الصحى يمكن أن تتبادل أو تدمص أو تترسب أو تدخل فى تفاعلات كيميائية تحولها إلى مركبات قليلة الذوبان أو تمتص بواسطة النبات وبالتالى فهى تزال جزئيا من المحلول.

يوجد ثلاث أنواع من نظم إضافة مياه الصرف الصحى إلى الأراضى هى:

١. نظام الرى (معدل منخفض)

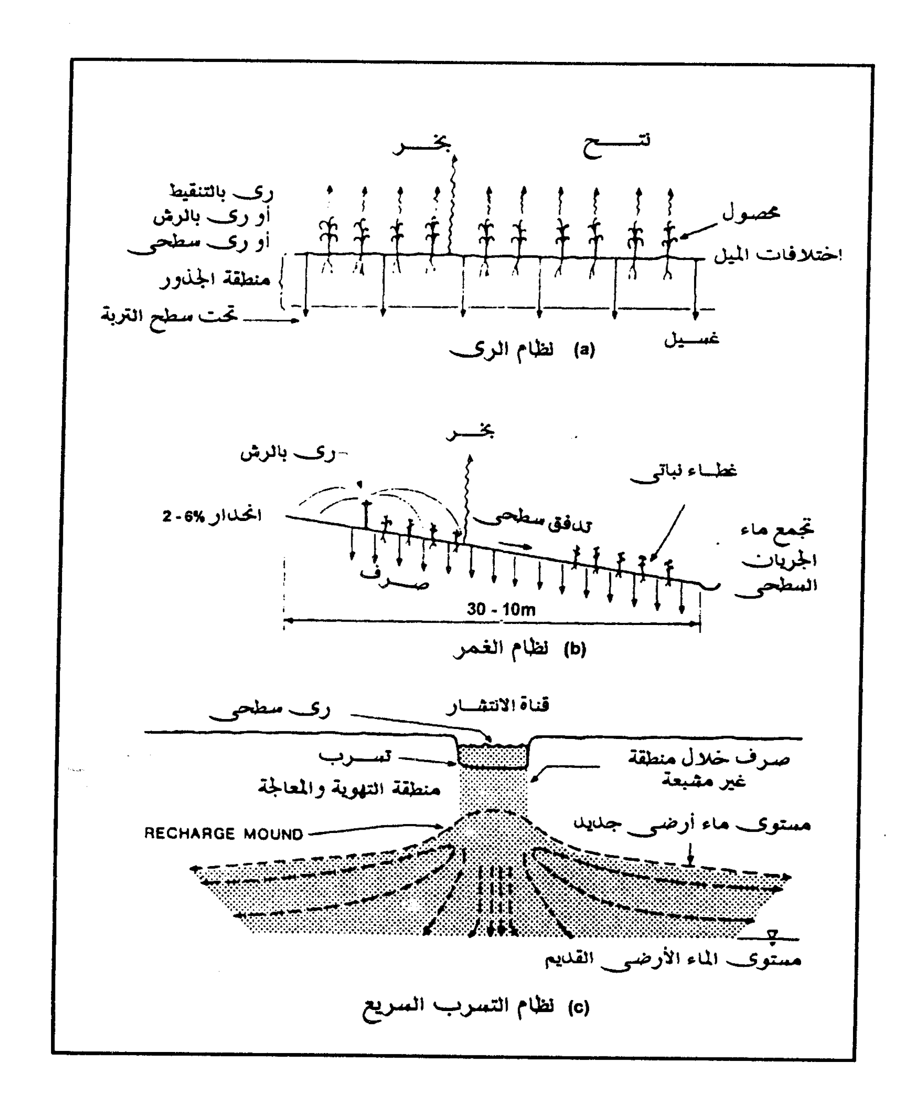
٢. نظام الغمر overland flow

٣. نظام الرشح السريع Rapid infiltration

ويعتبر إضافة مياه الصرف الصحى إلى الأراضى تحت نظام الرى بمعدل منخفض (7.5> cm/week) إقتصاديا فى المحاصيل الزراعية خاصة عندما يكون سعر الماء عالى. أما نظام الرى بعدل عالى (7.5-10 cm/week) فيستخدم فى زراعة الحشائش المتحمله لقلة الأكسجين ويكون الغرض الأساسى من إضافة مياه الصرف الصحى هو معالجة هذه المياه.

أمـــا فى نظـــام الرشح السريع فتستخدم معدلات إضافه للمياه أعلى بكثير من المعـــدلات المستخدمة فى النظم الأخرى ويتم ذلك عن طريق إستخدام رشاشات فى الأراضـــى سريعة النفاذيه ويمكن تحت هذا النظام إعادة إستخدام المياه الراشحه (مياه الصرف).

ويعتمد نظام الغمر على إضافة مياه الصرف الصحى للأرضى بطيئة النفاذية أو الأراضـــى ذات الأنحـــدار العالى والتى لها غطاء نباتى. حيث يتم تدفق مياه الصرف الصـــحى عـــلى طول 30–100m أرض بانحدار 2-3% خلال الحشائش وتعتبر هذه الطـــريقة ذات كفاءة عالية فى خفض الأكسجين الحيوى المستهلك (BOD) والمواد الصلبه العالقة والنيتروجين.



شكل 5-6 نظم إضافة مياه الصرف الصحى إلى الأراضى

كمـــا يوضح جدول (5-6) الخصائص الرئيسية لكل نظام من نظم إضافة مياه الصرف الصحى إلى الأراضى.

جدول 5-6. مقارنة بين خصائص نظم إضافة مياه الصرف الصحى إلى الأراضى*

العامل	الرى	الغمر	الرشح السريع
معدل إستيعاب السائل	12.5-100 mm/week	50-140 mm/week	100-3000 mm/week
الإضافه السنويه	600-2400mm/yr	2400-7200 mm/yr	5,500-15,000mm/yr
مســاحة الأراضى المطلوبه لكل 1000m³/d	15 - 60 /ha	5 – 15 ha	0.2 -7
التربـــــــه	• متوسطة النفاذية • Loamy sands to clay loams	بطيئة النفاذية Silt loam to clay	سريعة النفاذية Sandy loam to sand
الانحـــــدار	• محاصيل حقليه 0-6% • حشـــائش وغابـــات 0-15%	2 - 6%	< 2%
إزالة المواد الصلبه العالقه	90 – 99%	90 – 99%	90 – 99%
إزالة النيتروجين	80 – 100%	70 – 90%	0 – 80%
إزالة الفوسفور	95 – 100%	50 – 60%	70 – 95%
مصـــير مـــياه الصـــرف الصحى	صرف عمق جريان سطحى إعادة إستخدام بخر نتح	صرف عميق محدود جريان سطحى وإعادة إستخدام بخر نتح محدود	صرف عميق كبير يذهب إلى المياه الجوفيه لايوجد جريان سطحى بخر نتح ضعيف جداً

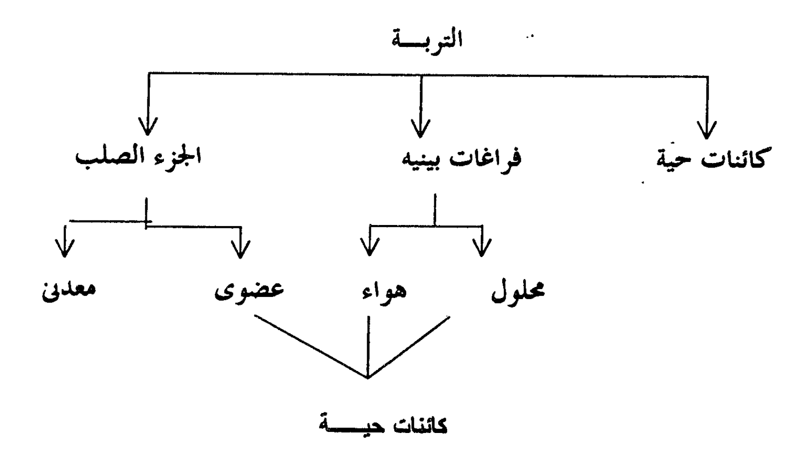
* الرى بمعدل 100mm/week يكون موسمى أما إضافة 2400mm/yr يكون فى المتوسط 60mm/week لمدة 40 أسبوع.

وبوجـــه عـــام فإن هذه الطريقة تكون أكثر كفاءة تحت ظروف درجة الحرارة العالـــية. ونظام الغمر كطريقة من طرق المعالجة تعتبر أقل كفاءة من نظام الرى بمعدل

منخفض.

خواص التربه الواجب فحصها عند إضافة مياه الصرف الصحى

تـــتكون الـــتربة من الطور الصلب الذى يتخلله الفراغات البينية ويتكون الجزء الصـــلب فى التربه أساسا من الحبيبات المعدنية الناتجة من الصخور ومن المادة العضوية الناتجة من تحلل بقايا النباتات والحيوانات وتمتلىء الفراغات البينيه فى التربة بالهواء أو المحلول المائى المذاب فيه أملاح والتربة بشقيها الصلب والسائل تعتبر بيئية مناسبة لنمو الكائنات الحية الدقيقة.

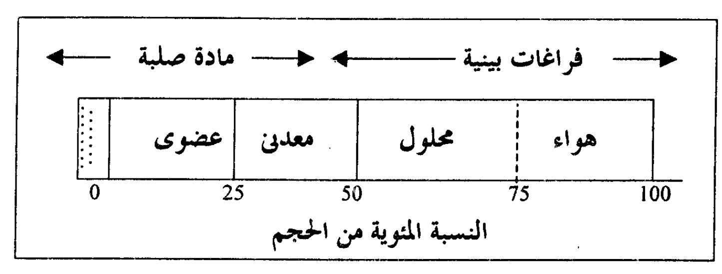


ويرتـــبط سلوك كلا من الماء ومكونات المخلفات فى التربة إرتباط وثيقا بحجم وترتيـــب الحبيـــبات المعدنـــية وايضا كمية المادة العضوية وذلك لأن طبيعة وكمية الفـــراغات البينـــيه تـــتوقف على هذين العاملين ويوضح الشكل رقم (8-3) النسب التقريـــية لمكونات التربة السطحية فى الأراضى الزراعية. ويلاحظ أن الطور الصلب والفراغات البينيه تحتلان نسب متساوية فى التربة.

كمـــا أن المـــادة العضـــوية تمثل حوالى 10% من الجزء الصلب والباقى يعتبر

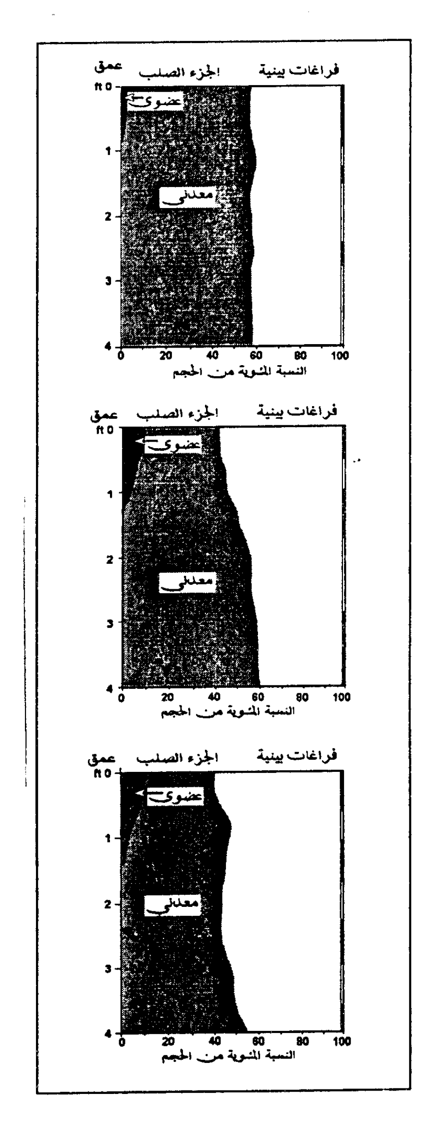
حبيــبات معدنـــية. وتمتلىء نصف الفراغات البينيه بالماء بينما النصف الأخر يمتلىء بالهواء وذلك فى الأحوال الطبيعية التى لا تكون فيها التربة جافه جداً أو رطبه جداً.

"سلوك مياه الصرف الصحى فى التربة يتأثر بطبيعة الفراغات البينيه التى تتحدد تبعا لخواص الحبيبات المعدنية والمادة العضوية".



شكل 5-7 . التركيب الحجمى لتربة زراعية سطحية تحت ظروف ملائمة لنمو النبات.

ويجـــب أن نضـــع فى الاعتبار الاختلافات الشديدة فى خواص التربة مع العمق فـــنجد مثلا أن كمية المادة العضوية وحجم وترتيب الحبيبات تتغير تغيرا ملحوظا مع العمـــق. وهـــذا بالتالى ينعكس على حجم الفراغات البينيه مما يؤثر على نسب الماء والمحلـــول تبعا لظروف المناخ واستخدامات التربة ولكى نقيم التربة كوسط لاستقبال مخلفـــات الصـــرف يجب وبالضرورة تحديد الأختلافات فى خواص الأتربه المختلفة. ويوضح الشكل(5-8) ثلاث قطاعات لأتربة مختلفة لعمق ١,٢٠ متر تقريبا وتمثل هذه القطاعـــات من أعلى إلى أسفل خواص الأتربه الصالحة لنظم الرشح السريع (rapid infiltration، الرى irrigation، الغمر بالترتيب.



شكل 5-8. رسم تخطيطى يوضح قطاع ثلاثة أراضى ذات صفات مختلفة وهذه الأراضى من أعلى إلى أسفل تمثل صفات التربه الملائمة لطريقة إضافة ماء الصرف الصحى للتربه وهى بالترتيب: نظم الرشح السريع **rapid infiltration**، الرى **irrigation**، الغمر **overland flow**.

معدل التسرب والنفاذية وحركة الماء فى القطاع الأرضى:

يوجد علاقة وثيقة بين النفاذية ومعدل تسرب الماء الذى سبق تعريفه بأنه المعدل الـذى يخـترق بـه الماء سطح التربه معبرا عنه بالسم/ساعة. ويتأثر معدل التسرب بالنفاذية والمحتوى الرطوبى فى التربه. فعندما تكون التربه جافه فإن المسام تكون مملوءة بـالهواء فعـند إضـافة الماء إلى التربه يحل محل الهواء تدريجيا ويملأ الفراغات البينيه. ويتناقص معدل تسرب الماء كلما زاد إضافة الماء حتى يصل إلى معدل ثابت. وعندما تصل التربه إلى مرحلة التشبع يصبح معدل التسرب الثابت مساويا نفاذية الأفق الدى له أقل نفاذية بالنسبة للآفاق الأخرى فى القطاع الأرضى واستمرار إضافة الماء بمعدل يزيد عن معدل التسرب سوف يؤدى بعد ذلك إلى الجريان السطحى للماء. وفى حالة وجـود مـيل فى الـتربه فإن الماء المضاف يتحرك أفقيا عندما يصل إلى الطبقة ذات الـنفاذية الأقل ولذلك يمكن القول أن معدل التسرب يعتمد اعتمادا وثيقا على نفاذية الطبقات (الآفاق) فى القطاع الأرضى وكذلك على الطبوغرافيا.

يتوقف معدل التسرب على النفاذية، المحتوى الرطوبى للتربه والطبوغرافيا.

الماء المتاح (الميسر) Available water

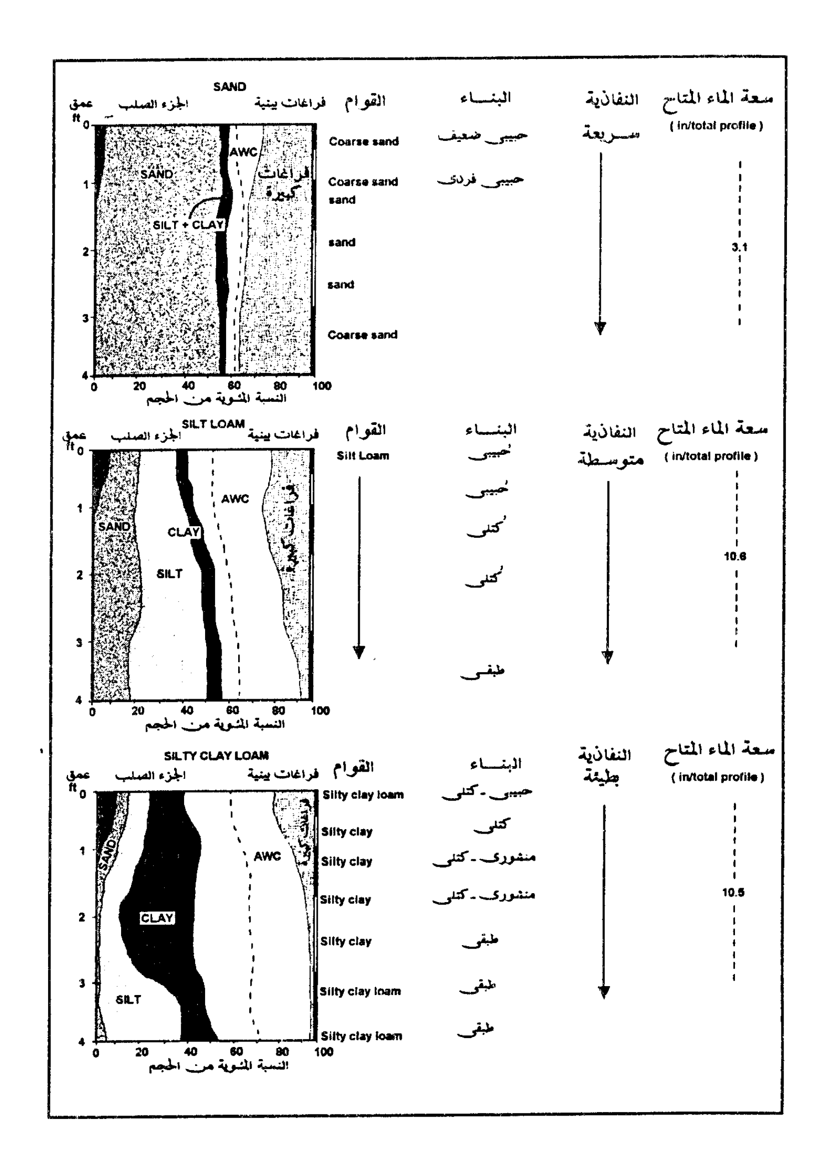
لتوضيح معنى الماء الميسر (المتاح) نفترض أن التربه تم تشبيعها بالماء نتيجة الرى بمياه الصرف الصحى فعندما يتوقف إضافة الماء إلى التربه يحدث صرف للماء الموجود فى المسـام الكـبيرة إلى أسفل بواسطة الجاذبية الأرضى فى خلال يومين (٤٨ ساعة) ويطلـق على الرطوبه الأرضيه فى هذه الحاله اسم السعة الحقلية field capacity عند السعة الحقلية يكون الماء الموجود فى المسام الكبيرة macro pores قد تم التخلص منه وحل محله الهواء اما المسام الصغيرة micro pores تكون مملوءة بالماء اللازم لمد النبات بإحتياجاته المائيه يمتص النبات إحتياجاته المائيه من الأرض عند السعة الحقلية ويفقد جـزء كبير من هذا الماء الممتص عن طريق النتح transpiration كما يفقد جزء كبير مـن ماء الأرض عن طريق البخر evaporation. وعند جفاف الأرض يبدأ النبات فى

الذبــول صــباحاً للاحتفاظ بالرطوبه ويستعيد حيويته مساءاً وتدريجيا يحدث ذبول للنــبات صــباحاً ومساءاً أى يصبح فى حالة ذبول دائم ويطلق على المحتوى الرطوبى للــتربه عندما يكون النبات فى حالة ذبول دائم بإسم معامل الذبول أو نقطة الذبول المستديم permanent wilting point.

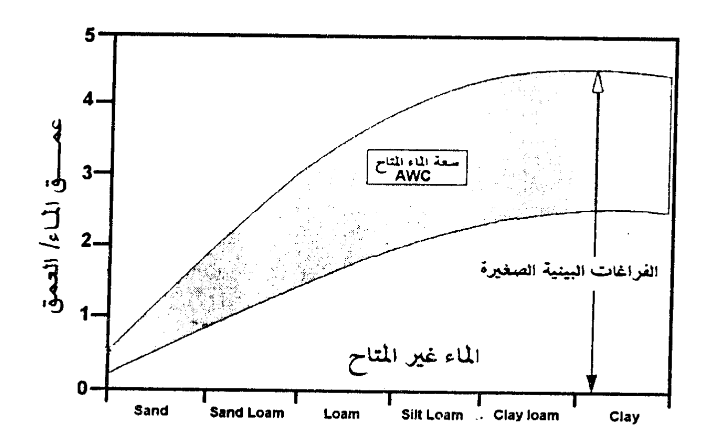
ويطلــق عــلى الماء الممسوك فى التربه بين السعة الحقلية ونقطة الذبول المستديم إسم الماء المتاح (الميسر) وهو الماء الذى يمكن استخدامه بواسطة النبات.

وتخــتلف سعة الماء الحر فى الأتربه بإختلاف نسبة المسام الصغيرة فى التربه التى تعــتمد بدورها على القوام والبناء ونسبة المادة العضوية فى التربه (شكل رقم 5-9). فمــن الشــكل نجد أن الرمل الخشن coarse sand له أقل سعة ماء متاح وذلك لأن نســبة المسام الصغرى فيه صغيرة فى حين أن التربه silty clay loam تكون لها أكبر ســعة ماء متاح وذلك لكبر نسبة المسام الصغرى فيها ويوضح الشكل رقم (5-10) العلاقة بين الماء المتاح ونسبة المسام الصغرى فى التربه.

ســعة الــتربه من الماء المتاح (الميسر) يتوقف على نسبة الفراغات الصغرى فى التربه والتى منها يستخلص النبات إحتياجاته المائيه .



شكل 5-9. يوضح الأختلافات فى سعة الماء المتاح بين عدة قطاعات تربه



شكل 10-5. يوضح العلاقة بين الفراغات الصغرى والماء المتاح وقوام التربه

وكمـــا أن الماء المتاح هاما بالنسبة لنمو النبات فإن الماء المتاح يعتبر أيضا هاما بالنسبة لكفاءة نظم إضافات مياه الصرف الصحى. فتفاعل وبالتالى معالجة المخلفات الموجـــودة فى مـــياه الصرف الصحى مع التربه يتوقف على فترة بقاء الماء فى التربه. وتعتـــبر سعة التربه من الماء المتاح بالضرورة مقياس لمقدرة التربه على تخزين الماء التى بدورها تعكس كمية مياه الصرف الصحى التى يجب إضافتها للأرض الجافه بدون أن تفقـــد مباشرة إلى الماء الجوفى. وامتصاص النبات للماء يؤدى إلى استمرار تناقص الماء المـــتاح خـــلال فترة النمو وبالتالى يسمح بإضافة كميات متزايده من مياه الصرف الصـــحى ويتوقف تناقص الماء الحر خلال فترة نمو النبات على المناخ ونوع النباتات النامية.

سعة التربه من الماء المتاح (الميسر) تعبر بالضرورة عن السعة التخزينيه للتربه من المـــاء. وكـــلما كانـــت الـــتربه ذات سعة تخزينيه عاليه كلما زادت فترة بقاء مكونات مياه الصرف الصحى فى التربه مما يضمن معالجتها.

السعة التبادليه الكاتيونيه Cation Exchange Capacity

غـــرويات الـــتربه هـــى التى تحدد الخواص الكيميائيه للتربه، ويعرف الغروى Colloid بأنه أى مادة صلبة ذات حجم صغير جداً ولذلك فأن خواص السطوح بها تكون أكثر أهمية من وزنها وأغلب الغرويات لا تتعدى أقطارها بضعة ميكرومترات. ونظراً لكبر مساحة سطح الغروى نجد أن العديد من التفاعلات الكيميائيه تحدث على ســطوحها وهذه التفاعلات هى التى تحدد الخواص الكيميائيه للتربه وغرويات التربه الســائده تنحصــر فى معادن الطين والدبال. ويتميز كلا من الطين والدبال بنشاط ديناميــكى كــبير نظراً لصغر أحجامها (<0.002mm) وبالتالى كبر السطح النوعى وايضــا لامتلاك الطين والدبال شحنات سطحية قادرة على جذب الأيونات الموجبة والســالبة الشــحنة وكذلــك الماء. ولذلك فإن الطين والدبال يؤثران على الخواص الكيميائيه للتربه بدرجة أكبر من الرمل والسلت فبالنسبة للرمل الخشن يتراوح السطح النوعى له بين $10–50 cm^2/g$ بينما السطح النوعى للطين قد يزيد عن $10.000\ cm^2/g$ ونتــيجة لوجــود الشحنات على سطوح الغرويات نجد أنها لها المقدرة على جذب الأيونات والمركبات الذائبه فى مياه الصرف الصحى.

والتــبادل الذى يحدث بين كاتيون فى المحلول وكاتيون آخر موجود على سطح غــرويات الــتربه يعرف باسم التبادل الكاتيونى Cation exchange. وتعرف السعة التبادلــيه الكاتيونيه للتربه بأنها كمية الكاتيونات المتبادلة على وحدة وزن من التربة معبرا عنها بالسنتيمول(+) Centimole لكل كيلو جرام تربه ويستخدم Centimoles لأن عــدد مواقع الشحنة السالبة على غرويات التربه لا يتغير بينما وزن العناصر التى تدمص على هذه المواقع تتغير.

وتخــتلف السعة التبادليه الكاتيونيه من تربه إلى أخرى وذلك يتوقف على كمية ونــوع الطين والدبال الموجودة فى هذه الأتربة والسعة التبادليه الكاتيونيه للتربه هى خاصــية هامه جداً لأنها تدل على مقدرة التربه على إمتصاص الملوثات الموجودة فى

مياه الصرف الصحى المضافه إلى التربه. فهذه المياه تحتوى على أيونات ومركبات ذائبه وامتصاص وانتقال هذه المكونات خلال التربه يتوقف على السعة التبادليه الكاتيونيه.

إدمصاص وإنتقال الأيونات والمركبات الذائبه فى مياه الصرف الصحى خلال التربه يتوقف على السعة التبادليه الكاتيونيه.

ولما كانت الشحنة السائدة على غرويات التربه هى شحنه سالبه فإن أغلب الأيونات التى تنجذب إلى هذه الشحنة تكون أيونات موجبه مثل الأمونيوم والكالسيوم والمغنسيوم والصوديوم والزنك والنحاس وغيرها. لذلك فإن السعة التبادليه الكاتيونيه (CEC) تعتبر مقياس لمقدرة التربه على الأحتفاظ بالكاتيونات وبطريقة غير مباشرة فإن السعة التبادليه الكاتيونيه تعتبر دليل تقريبى على التفاعلات التى تحدث بين الملوثات ذات الشحنة وسطوح الغرويات وبوجه عام كلما زادت السعة التبادليه الكاتيونيه للتربه كلما زادت مقدرة هذه التربه على معالجة الملوثات.

السعه التبادليه الكاتيونيه هو مقياس تقريبى للتفاعلات التى تحدث بين الملوثات ذات الشحنه وغرويات التربه (الطين والدبال).

ولأن السعة التبادليه الكاتيونيه للتربه تتوقف على كمية ونوع معادن الطين وكمية الدبال فيها فإنه من المتوقع أن تختلف السعة التبادليه الكاتيونيه فى القطاع الأرضى تبعا للاختلافات بين الآفاق. ويوضح الشكل رقم (5-11) الاختلافات فى السعة التبادليه الكاتيونيه فى قطاعات ثلاث أراضى مختلفة.

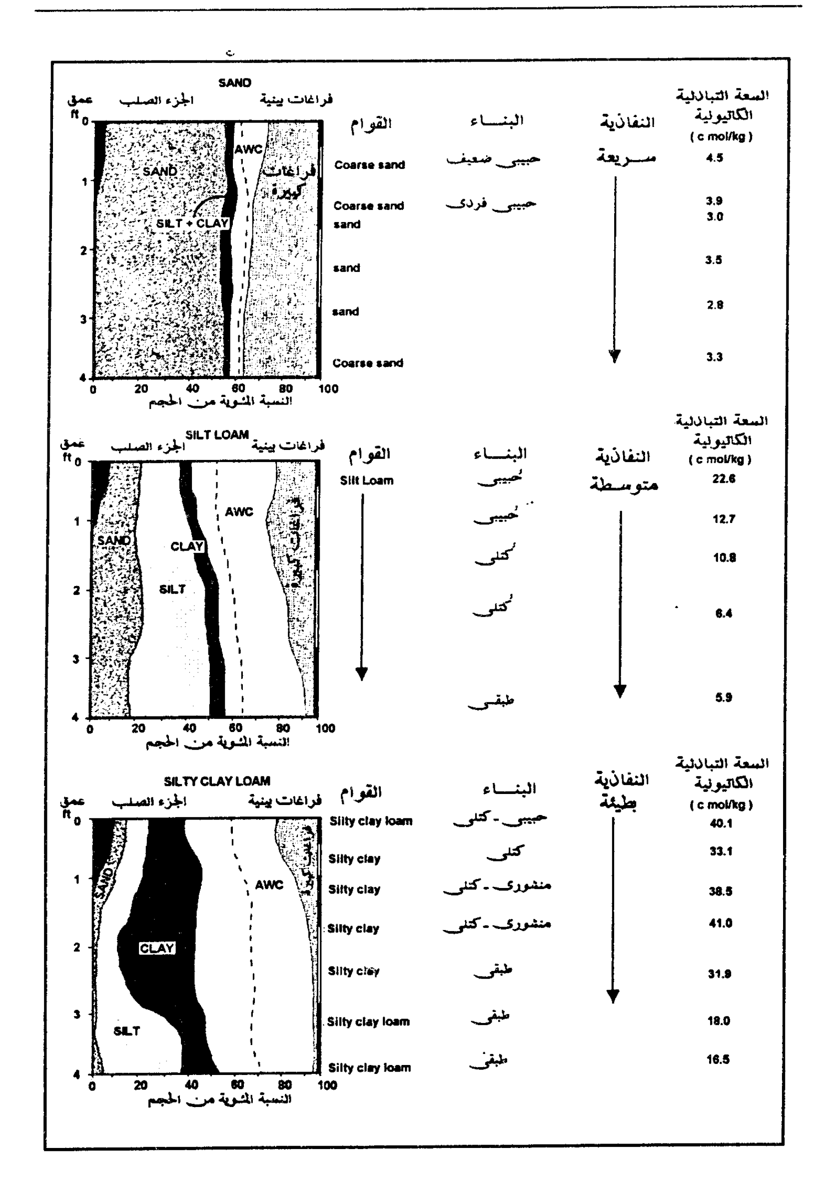
مما سبق مناقشته يتضح أن الأتربه التى لها معدل تسرب ماء عالى تكون أقل قدره على معالجة الملوثات المضافه إلى التربه لأن السعة التبادليه الكاتيونيه لهذه الأتربه تكون منخفضة وعلى النقيض من ذلك فإن الأتربه ذات القدرة العالية على مسك الملوثات يكون معدل تسرب الماء فيها محددا.

لذلك فإن نظم التسرب السريع rapid infiltration لا تكون ذات كفاءة عالية مـن ناحـية معالجـة الملوثات فى حين أن نظم الغمر على الرغم من أنها تعمل على أراضى ذات سعة تبادليه كاتيونيه عاليه فإن مقدرتها ايضا محدودة نتيجة لضعف معدل التسـرب بهـا مما يقلل من التلامس بين الملوثات وغرويات التربه تحت السطحية أما نظـام الرى Irrigation فيعتبر وسط بين النظامين السابقين وربما يكون أفضل أنظمة إضافة مياه الصرف الصحى إلى الأراضى.

الأراضى ذات السعة التبادليه الكاتيونيه العالية تكون ذات مقدرة كبيرة على معالجة الملوثات الموجودة فى مياه الصرف الصحى نتيجة للتفاعلات التى تحدث بين الملوثات وغرويات التربه.

ميكانيكيات المعالجة ومقدرة التربه على استيعاب الملوثات

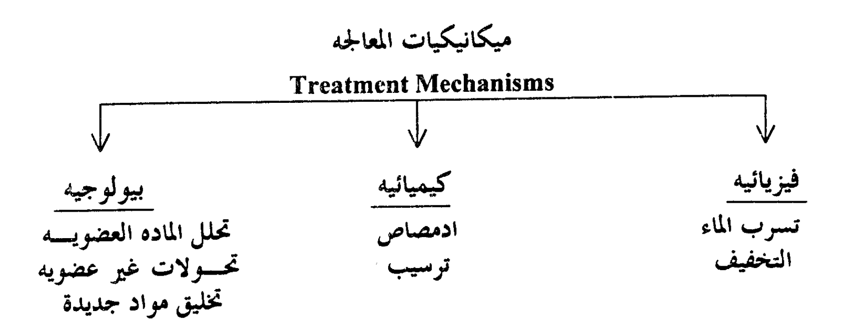
اسـتخدام الـتربه كوسيلة لمعالجة المخلفات يعتبر مفهوم حديث حيث جرت العادة منذ القدم على استخدام التربه للتخلص من المخلفات وليس معالجتها. والواقع أن المخلفـات لا يـتم التخلص منها بإلقائها فى التربه لأن جزء من هذه الملوثات يمر خلال التربه إلى الماء الجوفى وجزء أخر يمتص بواسطة النباتات الناميه فيها وجزء ثالث يـتم إحـتجازه فى الـتربه. ولذلـك فإن التصميم الصحيح لنظم معالجة المخلفات باسـتخدام التربه يجب أن يضع فى الاعتبار مقدرة التربه على استيعاب هذه الملوثات بحيث يقلل أن لم يكن يمنع مرور الملوثات خلال قطاع التربه إلى الماء الجوفى.



شـــكل رقم 5-11. رسم تخطيطى يوضح الأختلافات فى السعة التبادليه الكاتيونيه فى ثلاث قطاعات تربه مختلفة.

لا يتم التخلص من الملوثات وذلك بإلقائها فى التربه والحقيقة أن جزء من هذه الملوثـــات يمتص بواسطة النباتات وجزء يمسك بواسطة غرويات التربه وجزء ثالث يمر خلال قطاع التربه إلى الماء الجوفى.

وتقســـم ميكانيكيات معالجة الملوثات باستخدام التربه إلى ميكانيكيات فيزيائيه وبيولوجـــيه وكيميائيه وتحت كل من هذه الميكانيكيات تعمل عدة عمليات تودى فى النهاية إلى التخلص من أو تحوير الملوثات.



الميكانيكيات الفيزيائيه

١. الترشيح Filtration

عند مرور ماء الصرف الصحى خلال التربه فإن المواد الصلبه المعلقه فى الماء يتم حجـــزها فى الـــتربه عن طريق الترشيح الميكانيكى ويتوقف العمق الذى يحدث عنده حجز لهذه المعلقات على حجم المواد العالقه وقوام التربه ومعدل إضافة مياه الصرف الصحى. فكلما زاد معدل الاستيعاب الهيدروليكى وزادت خشونة التربه كلما زادت المســـافه التى يحدث عندها حجز لهذه المعلقات الصلبه ومع ذلك فعند تساوى معدل الاستيعاب الهيدروليكى مع معدل الإضافهيحدث إزاله أكبر للمعلقات نتيجة التصاق المعلقات الصلبه على سطوح حبيبات التربه.

زيـادة معـدل الأسـتيعاب الهيدروليكى hydraulic loading rate وزيادة خشـونة التربه تؤدى إلى زيادة المسافة والعمق التى يتم عندها حجز المعلقات الصلبه من مياه الصرف الصحى.

الحبيـبات العضوية الكبيرة والكائنات الحيه ذات الحجم الكبير مثل البروتوزوا والديـدان يمكن حجزها فى التربه بينما تستطيع البكتريا والفيروسات ذات الأحجام الصـغيرة أن تمر خلال مسام التربه ولقد أوضحت الدراسات أن الطفيليات الموجودة فى مياه الصرف الصحى يتم حجزها فى التربه حيث أن التربه تعمل كمرشح فتحجز البكتريا فيها بينما تدمص الفيروسات على سطوح حبيبات التربه.

تعمـل الـتربه كمرشح فيتم حجز البكتريا فيها ومنعها من الوصول إلى الماء الجوفى بينما تدمص الفيروسات على سطوح حبيبات التربه.

٢. التخفيف Dilution

فى المناطق الرطبه يحدث تخفيف لتركيز الملوثات فى مياه الصرف الصحى نتيجة إخـتلاطه بالمـياه الجوفيه أو نتيجة سقوط الأمطار أو ذوبان الثلوج بينما فى المناطق الجافه يحدث تركيز لهذه الملوثات نتيجة لشدة البخر فى هذه المناطق.

محدودية الميكانيكية الفيزيائيه فى إزالة الملوثات

يمكن للمواد الصلبه العالقه فى الماء أن تسد مسام التربه وبالتالى تقلل من معدل التسـرب الأمر الذى يؤدى إلى حتمية إزالة المواد الصلبه العالقه (SS) من الماء قبل إضافتها للتربه.

ولقـد أوضحت الدراسات التى أجريت على استخدام الرمل كمرشح فى نظم معالجـة مـياه الصرف الصحى أن مرشحات الرمل لها القدرة على احتجاز المعلقات الصلبه الصغيره فى مياه الصرف الصحى عند مسافة لا تتجاوز بضعة سنتيمترات. وقد

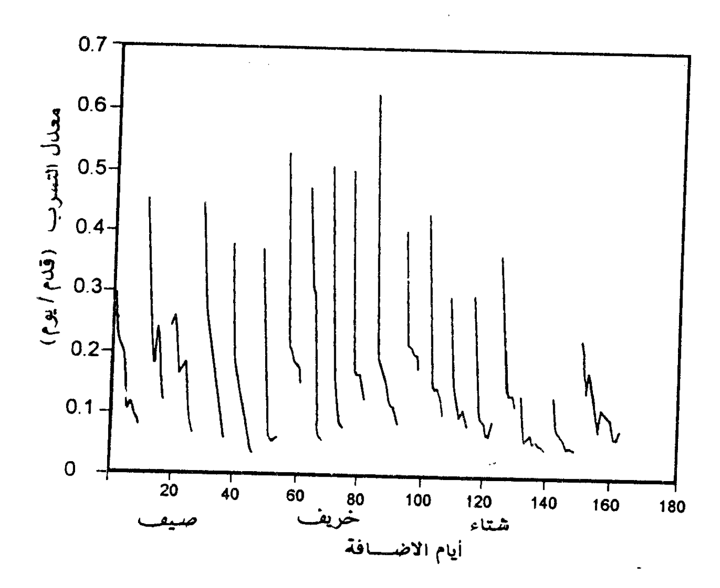
تصل مقدرة الرمل على استيعاب المعلقات إلى قيم تعادل 26,000 kg SS/acre-day (فى حالـــة إضافة ماء صرف صحى يحتوى على 20 mg/l SS). ونتيجة لكبر حجم ووزن المـــواد العالقـــة المحـــتجزه فإنه من المتوقع أن يحدث تناقص سريع فى التوصيل الهيدروليكى خلال فترة لا تتعدى 24 ساعة أو أقل.

ولذلـــك فإنـــه ينصح فى نظم إضافة مياه الصرف الصحى إلى التربه أن يعقب إضـــافة المـــياه فترات راحه rest periods يتم بها التخلص من المواد العالقة التى تسد المسام عن طريق التحلل الطبيعى لهذه المعلقات فى فترات الراحه.

يـــتم التخلص من إنسداد المسام بواسطة المواد العالقه عن طريق إعطاء فترات راحة تلى إضافة مياه الصرف الصحى حتى يحدث تحلل لهذه المعلقات.

ولقد أوضحت الدراسات (شكل رقم 5-12) أن إضافة مياه الصرف الصحى بمعدل يعادل 100 kg SS/acre-day لا يسبب أى انسداد للمسام فى أغلب الأراضى. فإذا تم استعمال فترات راحة من 3-2 أيام بين الإضافات فإن معدل الإضافه الذى لا يســـمح بحـــدوث غلق للمسام يمكن أن يرتفع إلى 300 kg SS/acre-day ومما سبق يتضـــح أن جدولـــة إضافة مياه الصرف الصحى للأراضى وعمل معالجة ابتدائية لمياه الصـــرف الصـــحى مثل النخل Screening أو الترسيب الابتدائى ربما يكون كافيا لتفادى إنسداد مسام التربه.

يمكن تفادى غلق مسام التربه بواسطة المعلقات الصلبه عن طريق إجراء معاملة ابتدائية لمياه الصرف الصحى مع إعطاء فترات راحة بين الإضافات.



شكل رقم **12-5**. تأثير فترات الراحه بين أوقات إضافات مياه الصرف الصحى على معدل التسرب فى تربه لوميه.

إدمصاص وترسيب الملوثات

تقـــوم التفاعلات الكيميائيه بين الأيونات الذائبه والمركبات وبين الجزء الصلب مـــن التربه على تغيير حركة مكونات الملوثات فبعض المكونات الذائبه يتم إحتجازها على سطح حبيبات التربه بصفة دائمة بينما البعض الأخر تتأثر حركته لصفة مؤقته.

والعمليـــتين الكيميائيتين المسئوليتين عن مسك الملوثات الذائبه هما الإدمصاص والترسيب. فالإدمصاص ينتج من تفاعل المواد الذائبه من الملوثات مع سطوح معادن الطين والدبال بينما الترسيب هو تكوين ناتج غير ذائب من المكونات الذائبه الموجوده فى المحلول.

يتم مسك والحد من حركة مكونات الملوثات الذائبه أساسا من خلال عمليتى الإدمصاص والترسيب.

ويعتــبر التــبادل الأيونى نوع من أنواع الإدمصاص ويوجد ما يسمى بالتبادل الأنــيونى بــين الأنــيونات سالبة الشحنة والتبادل الكاتيونى بين الكاتيونات موجبة الشــحنه. ففــى الظروف الحمضية (درجة الحموضه -pH أقل من 5) بعض الأتربه يكــون لها القدرة على مسك كميات صغيرة من الأنيونات مثل النترات والكبريتات والفوســفات فى صــورة متبادله وتكون الأكاسيد المتأدرته للحديد والألومنيوم هى المســئوله أساسا عن عملية التبادل الأيونى. وعلى الرغم من ذلك فإن عملية التبادل الأنــيونى تكــون ذات أهمية ضعيفة فى نظام إضافة الملوثات إلى التربه حيث نجد أن الأنــيون الوحيد الذى يتم مسكه فى التربه هو الفوسفور ويتم بميكانيكية مختلفة عن التبادل الأنيونى.

وتفــاعلات التبادل الأنيونى السائده فى معظم الأتربه هى عباره عن تفاعلات تبادل كاتيونى وهذه يتم التعبير عنها بالسعة التبادليه الكاتيونيه. فالتبادل الكاتيونى هو دالــه لشــدة التجاذب النسبى من الأيونات والجزء الغروى من التربه وبين التركيب النسبى للكاتيونات المتبادله الموجوده فى المحلول الأرضى.

أغلب تفاعلات التبادل الأيونى فى معظم الأراضى هى تفاعلات كاتيونيه.

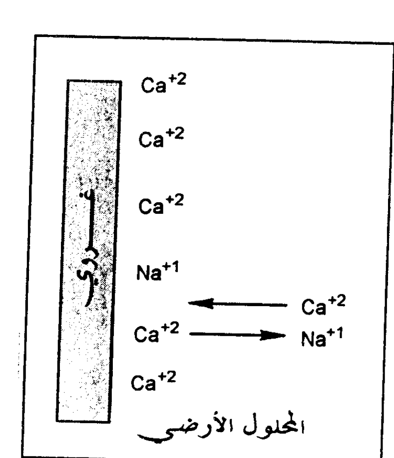
والسلسله التاليه توضح شدة التجاذب بين الأيونات المختلفة والجزء الغروى من التربه فى ترتيب متناقص.

$$Al^{+3} > H^{+} > Ca^{+2} > Mg^{+2} > K^{+} > NH^{+}_{4} > Na^{+}$$

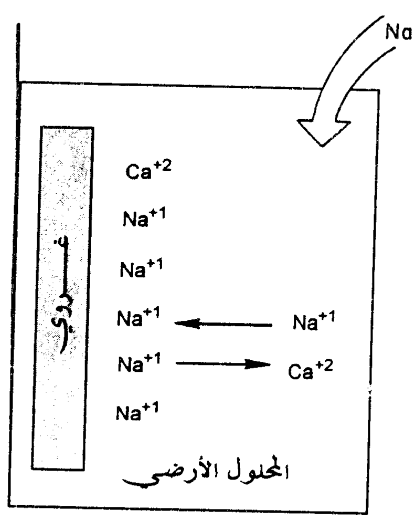
ولتوضيح ذلك نفترض وجود نظام مغلق يتكون من طور غروى صلب وطور ســائل (شكل 5-13) ونفترض فى هذا النظام وجود كميات متكافئه من الكالسيوم والصــوديوم موزعــه بين هذين الطورين. فى أى وقت يحدث أن بعض الكاتيونات تــتحرر مــن الطور الصلب وتذهب إلى الطور السائل والبعض الآخر يحل محلهم من الطــور الســائل عــلى الطور الصلب وفى هذه الحاله يقال أن النظام فى حالة توازن

ديناميكى عندما يحدث تبادل عشوائى بين الطورين بدون أن يحدث أى تغيير فى نسب الكاتيونات الموجوده فى كلا من الطورين. ونتيجة لقوة الجذب بين الكالسيوم والسطح الغروى فإن الكالسيوم سوف يسود على مواقع التبادل عند الإتزان.

سوف نفترض أن المزيد من أيونات الصوديوم قد دخلت النظام ونتيجة لزيادة تركيز الصوديوم عن الكالسيوم فى النظام يحدث توزيع عشوائى للكاتيونات بين النظامين ويسود الصوديوم على مواقع التبادل فى الجزء الصلب ويحل محل الكالسيوم على الرغم من أنجذاب الكالسيوم إلى مواقع الشحنات فى الجزء الصلب. وعلى ذلك فعند الأتزان فإن الصوديوم سوف يسود على مواقع التبادل فى الجزء الصلب. ولذلك ففى نظم معالجة مياه الصرف الصحى نجد أن إدمصاص ومسك الكاتيونات الذائبه على التربه يتوقف أساسا على تركيز الكاتيونات فى المحلول الذى يدخل التربه.



شكل 13-5a. شدة التجاذب بين غرويات التربه وكاتيون ما يؤثر على عملية التبادل الكاتيونى فالكالسيوم ينجذب بشدة إلى سطوح الغرويات ولذلك نلاحظ سيادته على مواقع التبادل.



شكل 13-5b. زيادة التركيز يمكن أن يغير من تأثير قوة التجاذب بين الكاتيونات والسطح الغروى فنجد أن زيادة تركيز الصوديوم أدى إلى سيادة هذا الأيون على مواقع التبادل فى الجزء الغروى.

والـــتفاعل الذى تم فيه إحلال الصوديوم محل الكاتيونات الأخرى يعتبر تفاعلا هامـــا للغايه حيث نجد أن سيادة أيون الصوديوم على مواقع التبادل سوف يؤثر سلبا عـــلى بـــناء وتجبـــب التربه مسببا تفرق حبيبات التربه وهذا بالتالى سوف يقلّل من الفراغات الكبيرة وبالتالى يقلل من نفاذية التربه.

وتفـــاعلات التبادل الخاصة بأيون الأمونيوم (NH_4^+) تعتبر ايضا هامه حيث أن هـــذا الـــتفاعل يؤدى إلى إدمصاص هذا الكاتيون على سطوح غرويات التربه مؤقتا وبذلك يتوافر الوقت للعمليات البيولوجيه التى تعمل على تحويل الأمونيوم إلى نترات (NO_3^-) والذى يعتبر أيون متحرك.

فى نظـــم معالجـــة مياه الصرف الصحى فإن إدمصاص الكاتيونات الذائبه على غـــرويات التربه يتوقف أساسا على تركيز هذه الكاتيونات فى المحلول المضاف إلى التربه حيث أن زيادة التركيز تعمل سيادة الكاتيون ذو التركيز العالى على مواقع التبادل بغض النظر عن شدة انجذاب هذا الكاتيون.

وعـــند هـــذه المـــرحلة يجب التنويه والتركيز على أن الكاتيونات المتبادله هى كاتـــيونات يحل محلها كاتيونات أخرى بمعنى أنه عند إزالة أيون ما مثل الصوديوم أو الأمونـــيوم أو أى كاتيون آخر من ماء الصرف الصحى بفعل التبادل الكاتيونى فإنه وبالضـــروره ســـوف يحل محل الأيونات المزاله أيونات أخرى موجوده على سطوح غـــرويات الـــتربه أى أن الكاتيونات الموجوده على معقد التبادل سوف تذهب إلى المحلـــول وبكمـــيات متكافئه أى أن تركيز الأملاح الكليه الذائبه فى المحلول لن يتغير معنويا.

تختلف الأراضى فى مقدرتها على مسك الكاتيونات والأنيونات وتثبيتها وهو ما يعـــرف بالإدمصاص النوعى specific adorptions فالإدمصاص النوعى يحدث بين الأيونـــات الموجـــوده فى المحلول، الأيونات الموجوده على سطوح الغرويات. فمثلا

أيونـــات الأورثـــو فوســـفات ($H_2PO_4^-$, HPO_4^{-2}) تتفاعل مع الحديد والألومنيوم الموجـــود عـــلى سطوح معادن الطين ويصبح مع الوقت مثبتا أى ممسوكا على هذه السطوح بقوة كبيرة.

الإدمصاص النوعى يحدث فى الأراضى عندما يتم مسك الأيونات على سطوح غـــرويات الطـــين بقـــوة كبيرة تمنع تبادلها مع الأيونات الموجوده فى المحلول. فالعناصـــر الثقـــيله مثل الزنك والنحاس والنيكل والكادميوم والرصاص يتم مسكهم على غرويات التربه فى صورة غير متبادله.

العديـــد من كاتيونات العناصر الثقيله مثل الزنك والنحاس والكادميوم والنيكل والزئـــبق والرصاص والكروم توجد فى ماء الصرف الصحى بتركيزات منخفضة جداً ومـــع ذلك فهذه الكاتيونات تتفاعل مع المكونات الغرويه للتربهوتصبح فى صوره غير متبادـــله. وبالمقارنه مع مياه الحمأة نجد أن تركيزات العناصر الثقيله فى الحمأة تكون عالـــيه جـــداً ولذلك فإذالة هذه العناصر من الحمأة تتوقف بدرجة كبيره على درجة تجانس ابتلال الترب.

فمبدئـــيا تكون السطوح الخارجية للحبيبات هى التى فى حالة تلامس مع ماء الصرف الصحى وبمرور الوقت يحدث اتزان بين السطح الداخلى والمكونات الموجوده على السطح الخارجى.

التـــرسيـــب

كـــثير من الأيونات تتفاعل خلال الطور السائل نفسه وينتج عن ذلك تكوين راســـب غـــير ذائب والنقطة التى يحدث عندها ترسيب كيميائى يتوقف على تركيز الأيونات الداخلة فى التفاعل وثابت حاصل الإذابه Ksp. ويتم حساب حاصل الإذابه وذلـــك بضرب تركيزات المواد المتفاعله (moles/l) فى المحلول المشبع ببعضها. فمثلا قيمة Ksp لكبريتات الكالسيوم ($CaSO_4$) = 2.4×10^{-5} وهذا يعنى أنه عندما يكون حاصـــل ضـــرب تركـــيزات أيون الكالسيوم × تركيز أيونات الكبريتات يزيد عن

2.4×10^{-5} فأن كبريتات الكالسيوم سوف ترسب.

تركـــيز الكبريتات فى ماء الصرف الصحى= (1.3×10^{-3} moles/l) 125mg/l وتبعا لحاصل الإذابه فإن تركيز الكالسيوم فى المحلول لا يمكن أن يزيد عن 750 mg/l (1.85×10^{-2} moles/l). فإذا فرض أن البخر أدى إلى تركيز المكونات فى ماء الصرف الصـــحى فـــإن ناتج ضرب SO_4^{-2},Ca^{+2} سوف يزيد عن قيمة Ksp وبالتالى سوف يتجه التفاعل التالى إلى جهة اليمين مكونا كبريتات كالسيوم غير ذائبه.

$$Ca^{+2} + SO_4^{-2} \rightleftharpoons Ca\ SO_4$$

أما تخفيف التركيزات فى مياه الصرف الصحى نتيجة سقوط الأمطار أو التفاعل مـــع غرويات التربه (تعادل أيونى أو ادمصاص نوعى) فهذا سوف يؤدى إلى تخفيف التركـــيزات دافعـــا الـــتفاعل إلى الاتجـــاه ناحية اليسار ومؤديا إلى ذوبان كبريتات الكالسيوم الصلبه.

كثير من الأيونات تتفاعل من خلال المحلول مكونه رواسب غير ذائبه.

محدودية التفاعلات الكيميائيه فى إزالة مكونات المخلفات

تحتوى المخلفات على عناصر سامه وعناصر كبرى مثل النيتروجين والفوسفور وهـــذه العناصـــر يتم التحكم فيها جزئيا بواسطة الميكانيكيات الكيميائيه فى التربه. وسوف نستعرض هنا شرح مختصر لقدرة التربه على معالجة الملوثات المحتمل تواجدها فى المخلفات وذلك لتقدير مدى إستيعاب التربه لهذه الملوثات.

كـــثير مـــن العناصـــر الصغرى السامه مثل الزنك والنيكل تكون على صورة كاتـــيونات ومســـكها فى التربه يتوقف على السعه التبادليه الكاتيونيه. ولقد أجريت كثير من البحوث فى الآونه الأخيرة بغرض عمل جداول استرشاديه للحدود القصوى الـــتى يمكن إضافتها للتربه من العناصر الثقيلة والسامه. وركزت البحوث على عناصر

الـــزنك والـــنحاس والنـــيكل التى يمكن أن تكون سامه للنباتً وكذلك على عنصر الكادمـــيوم لمقدرتـــه التجميعـــيه فى النبات إلى تركيزات عاليه يمكن أن تكون سامه للحيوانات التى تتغذى على النباتات.

والجدول الاسترشادى المقترح تم عمله طبقا للسميه النسبيه للعنصر، قوام التربه، محتوى التربه من الماده العضويه، السعه التبادليه الكاتيونيه للتربه.

وقـــد تم نشر هذه الجداول الأسترشاديه (جدول رقم 5-7) بواسطة هيئة حماية البيـــئه Environmental Protection Agency (EPA) ســـنة 1977 لتحديد القدرة الأستيعابيه للأراضى الزراعية.

ولقـــد تم وضع هذا الجدول الاسترشادى بإفتراض أن الأراضى التى ستستقبل هذه الاضافات لن يتأثر إنتاجها من ناحية الكم أو الخواص التسويقيه.

جدول 5-7. الحدود القصوى المسموح إضافاتها من العناصر الصغرى للأراضى الزراعية

		السعه التبادليه الكاتيونيه		c mole/kg
	العنصر	< 5	5 - 15	> 15
أقصى كميه يمكن إضافتها	Pb	500	1,000	2,000
kg/ha	Zn	250	500	1,000
	Cu	125	250	500
	Ni	50	100	200
	Cd	5	10	20

Dowdy et al.,1976. Sewage sludge and effluent use in Agriculture, pp. 138 – 153. In Land application of waste materials. Soil Cons. Soc. Am. Iowa P. 313.

(iii) المعالجة النباتية Macrophyte Treatment

عـــادة مـــا يحـــتوى الســـائل الـــثانوى الـــناتج مـــن بحيرات الأكسدة على BOD_5 50mg/l فـــإذا كـــان المطلوب تركيز أقل من BOD فى السائل الثانوى فيتم استخدام ما يسمى ببحيرات النضج maturation pond ولقد وجد أنه للحصول على

مـــياه تحـــتوى على BOD_5 أقل من 25 mg/l فإنه يستلزم عدد ٢ بحيرة تنضج على الـــتوالى لمدة أسبوع اذا كانت المياه الداخلة للبحيرة من بحيرات الأكسدة تحتوى على BOD_5 أقل من 75 mg/l.

ولتحسين نوعية المياه الخارجة من بحيرات النضج فلقد تم استخدام بعض أنواع النـــباتات وتنميتها فى هذه البحيرات والنباتات المستخدمة هى عبارة عن نباتات مائية فوق سطح الماء أو تحت سطح الماء ويطلق عليها Macrophytes. هذه النباتات قادرة عـــلى امتصـــاص كميات كبيرة من العناصر الغذائية وخاصة النيتروجين والفوسفور والعناصـــر الثقيلة مثل الكادميوم والنحاس والزئبق والزنك كنتيجة طبيعية لنمو هذه النباتات وأيضا لتأثير نمو هذه النباتات يعمل على منع الضوء عن الطحالب الموجودة ولقـــد أوضـــحت الـــتجربة فى فلوريدا باستخدام النباتات المائية الطافية لمعالجة مياه الصـــرف الصحى الخام أنه يمكن الحصول على مياه ذات نوعيه تعادل المياه الناتجة من المعاملـــه الـــثانوية وذلك فى مـــدة ستة أيام (عمق الماء فى البحيـــرة 60 cm والسعة الهيدروليكية $1860\ m^3/had$).

١- نظام النباتات المائية الطافية Floating Aquatic Macrophyte

النـــباتات المائية الطافية وما تمتلكه من مجموع جذرى كبير تكون ذات كفاءة كـــبيرة فى اســـتخلاص العناصر الغذائية. وتم اختبار العديد من النباتات الطافية مثل Salvinia, Spirodella, Lemna, Eichornia ولكـــن Eichornia crassipes (Water hyacinth) تم دراســـتها بصورة مكثفة ووجد أن هذه النباتات تضاعف من كتلـــتها فى غضـــون 6 أيام كما أن النباتات النامية فى البحيرة لها القدرة على إنتاج حوالى 250kg/ha d مادة جافه وخفض تركيز النيتروجين والفوسفور فى مياه الصرف الصـــحى بنســـبة80% و50% على التوالى. كذلك النباتات المائية تعمل كمادة حيه للنشـــاط الميكروبى وبذلك يمكن التخلص من BOD خلال عملية التحلل وامتصاص قدر كبير من الفوسفور والمواد العضويه والمعادن الثقيلة.

ولذا يمكن القول أن ميكانيكية عمل هذه النباتات هى امتصّاص وتركيز وتخزين الملوثات فى مدى زمنى قصير وحصاد هذه النباتات ينتج عنه إزاله دائمة للملوثات من البحيرة. ويوضح الجدول رقم (9-5) معدل نمو النباتات المائية النامية فى محلول مغذى.

جدول رقم 9-5 . نمو وتركيز الفوسفور والنيتروجين لبعض النباتات المائية

نوع النبات	الكتلــة		التركيز	
	المحصول	معدل النمو	N	P
	$t\ ha^{-1}$ (dw)	$t\ ha^{-1}\ yr^{-1}$	gkg^{-1}	
نباتات طافية				
Eichornia crasspipes (water hyacinth)	20-24	60-110	10-40	1.4-12
Pista stratiotes (حس الماء)	6-10.5	50-80	12-40	1.5-11.5
Hydrocotyle spp. (penny wort)	7-11	30-60	15-45	2-12.5
Alternanthera spp. (عشب التمساح)	18	78	15-35	2-9
Lemna spp. (عشب البط)	1.3	6-26	25	4-15
Salvinia spp.	2.4-3.2	9-45	-	1.8-9
نباتات مغمورة				
Typha (cattail)	4.3-22.5	8-61	5-24	0.5-4
Juncus (rush)	22	53	15	2
Scripus (bulrush)			8-27	1-3
Phragmites (reed)	6-35	10-60	18-21	2-3
(spikerush) Eleochar	8.8	26	9-18	1-3
Saururus cernuus(hizards tail)	4.5-22.5	-	15-25	1-5

المصدر: Reedy and De Busk (1987)

وقدرة النباتات المائية على امتصاص العناصر الغذائية تتوقف مباشرة على معدل النمو والمحصول وتركيز العناصر فى الأنسجة أى أن معدل تخزين الملوثات فى النباتات المائـــية تتوقف على معدل النمو والمحصول. فعلى سبيل المثال فإن water hyacinth يمكنها النمو لتعطى محصول يصل إلى ton /ha 30 وزن جاف وهذا يؤدى إلى تخزين

حوالى 180kg P/ha, 900 kg N/ha وعيوب بحيرات النباتات توجز فيما يلى:

١. كـثرة توالـد الذباب والبعوض فيها وهذا يمكن التغلب عليه بتربية بعض أنواع الأسمـاك التى تتغذى على يرقات الذباب والبعوض فى البحيرة مثل Gambusia و Peocelia.

٢. القضـاء عـلى البكـتريا والكائنات الحية الأخرى الممرضة يكون ضعيفا نتيجة لحجـب ضـوء الشـمس عن البحيرة بواسطة النباتات وأيضا لقلة الأكسجين الذائـب. وتتميز النباتات المائية الطافية بسهولة حصادها واستخدامها فى تغذية الحـيوانات أو استخدامها كسماد أخضر فى الزراعة أو عملها سماد صناعى منها أو تحويـلها إلى بيوجاز تحت ظروف لاهوائية وبالتالى استخدام المخلفات الناتجة منها كسماد ومحسنات تربه.

٢ـ نظام النباتات المغمورة Emergent Macrophyte Treatment

فى السـنوات الحديثة تم استخدام بعض الأراضى الغدقة wetlands لمعالجة مياه الصـرف الصـحى الخام أو المعالجة جزئيا باستخدام النباتات المغمورة وتعتمد هذه المعالجة على ما يلى:

١. قدرة ريزومات هذه النباتات على النمو رأسيا وأفقيا فى التربة وبالتالى تعمل على تحسين التوصيل الهيدروليكى فيها وتزيد المسامية.

٢. يمكـن إزالة BOD والنيتروجين بواسطة النشاط البكتيرى فتتم المعالجة الهوائية فى منطقة الجذور بينما المعالجة اللاهوائية فتتم فى التربة المحيطة بالجذور.

٣. يمـر الأكسجين من الجو إلى منطقة الجذور عن طريق الأوراق والسيقان الخاصة بالنباتات (reeds) خلال الريزومات ويخرج الأكسجين من خلال الجذور.

٤. المواد الصلبة المعلقة فى مياه الصرف تتجمع فى الطبقة السطحية المكونه من سيقان أوراق النبات الميته وتكون معرضه للهواء.

٥. العناصـــر الغذائـــية الصـــغرى والعناصر الثقيلة يتم إزالتها عن طريق الامتصاص بواسطة النباتات.

ويـــتوقف معدل نمو النبات وقدرته الامتصاصية على إزالة الملوثات على تركيز الملوثـــات فى المـــاء وكثافة النباتات والمناخ ويوضح الجدول رقم (5-9) معدل النمو لبعض النباتات المستخدمة فى هذا النظام ومحتواها من العناصر الغذائية ولقد وجد أن أقصى تجمع للعناصر الغذائية بواسطة هذه النباتات تتراوح بين 200-1560 kg N/ha، 40-375 kg P/ha. كمـــا أن حوالى 50% من العناصر تم تخزينها فى أجزاء النباتات الموجـــودة تحـــت التربة. ويجدر بنا الإشارة هنا إلى صعوبة حصاد هذا الجزء الموجود تحـــت سطح التربه لضمان إزالة هذه الملوثات ومع ذلك فإن هذه النباتات لها المقدرة عـــلى تخزين العناصر فى أنسجتها على المدى الطويل وذلك بالمقارنة بالنباتات المائية الطافـــية وبالـــتالى فـــإن الحصاد الدورى للجزء الموجود تحت سطح التربة لا يكون ضروريا وإنما يمكن حصاد الجزء الموجود فوق سطح التربة مرة واحدة سنويا.

٣ـــ تقنية الغشاء المغذى Nutrient Film Technique

تقنـــية الغشـــاء المغذى هى عبارة عن تحوير لنظام نمو النبات فى المحاليل المغذية حيـــث تنمو النباتات مباشرة على سطح غير منفذ يتم إعداده بغشاء مستمر من مياه الصـــرف الصحى شكل رقم (5-14). فى هذا النظام يؤدى نمو النبات إلى امتصاص العناصـــر ويقوم المجموع الخضرى بحجب الضوء عن السطح فيمنع نمو الطحالب كما يتم إزالة الماء عن طريق النتح ويعمل المجموع الجذرى والمواد المتجمعة حوله كمرشح حيوى ولقد أقترح Jewell et al., (1983) ميكانيكية عمل هذه التقنية كما يلى:

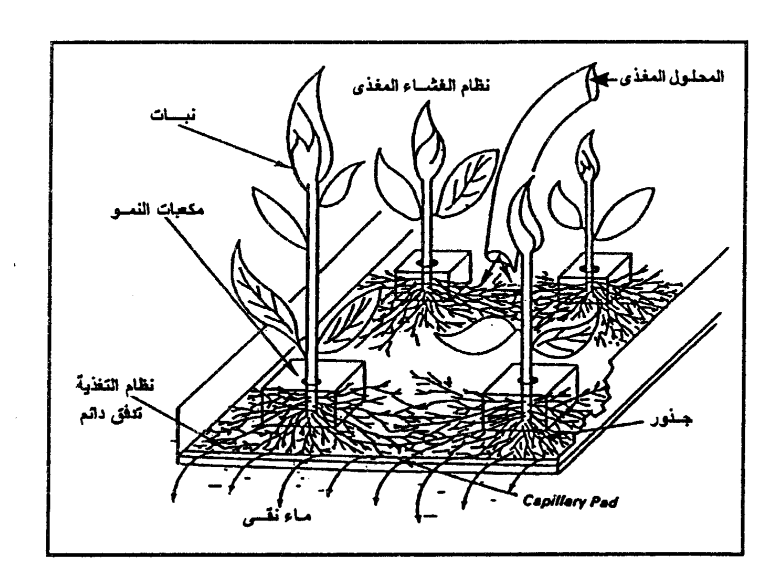
١. المعالجة الأولية بواسطة النباتات ذات المجموع الجذرى الكبير والقادرة على النمو فى ظروف تلوث كبيرة.

٢. تجمع كبير للحمأة ووجود ظروف لا هوائية وترسيب للعناصر الصغرى تعتبر من أهم سمات هذه الميكانيكية وبالتالى فإن جزء كبير من BOD مياه الصرف والمواد

الصلبة المعلقة يتم إزالتها.

٣. استخلاص العناصر الغذائية وتحولاتها نتيجة للنمو الغزير لهذه النباتات.

ولقـد أوضـح (1983) Jewell فى دراسة استغرقت ثلاثة سنوات أن تقنيات الغشاء المغذى أدت إلى نتيجة أفضل من المعالجة الثانوية عندما كان معدل إضافة مياه الصـرف 10cm/d وهـذا المعـدل يعادل معالجة مياه الصرف الناتجة من 10.000 نسـمة عـلى مسـاحة ٢ هكتار والنبات المستخدم هو reed canary grass ومع ذلـك فـإن النباتات الممكن استخدامها فى هذه التقنية تشمل Cattails, Bulrush, Strawflowers, Japanese millet roses, Napier grass, Wheat, Marigolds.



شكل 5 - 14. تقنية الغشاء المغذى

طرق المعالجة المتقدمة Advanced (Tertiary) Treatments

تستخدم طرق المعالجة المتقدمة عند الرغبة فى إزالة بعض الملوثات التى لم نتمكن من إزالتها بالمعالجة الثانوية. ولذلك يصبح من الضرورى استخدام طرق معالجة متقدمة للتخلص من النيتروجين والفوسفور وبعض المعلقات الصلبة والمواد العضوية والعناصر الثقيلة. وتشمل عمليات المعالجة المتقدمة ما يلى:

أ- الاستخلاص الهوائى

ب- الادمصاص بالكربون

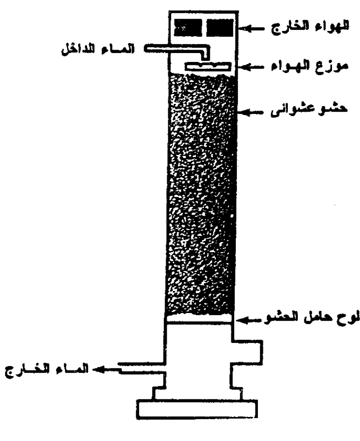
ج- الأكسدة الكيميائية

د- التناضح العكسى

هـ- التحليل الكهربائية

أ- الإستخلاص الهوائى Air stripping

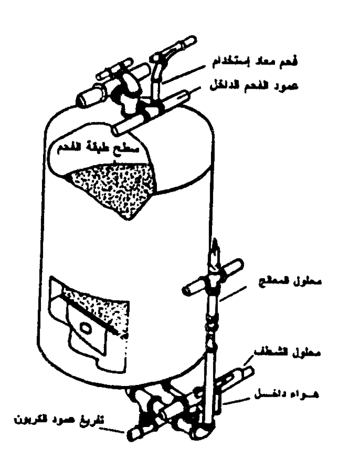
وهذه الطريقة هى إحدى الطرق الشائعة لمعالجة المياه الجوفية الملوثة بمركبات متطايرة مثل المذيبات. وفى هذه الطريقة تستخدم أبراج محشوة بمواد خاصة وأشكال من البلاستيك ويتم دفع تيار معاكس من الهواء خلال المادة الحاشية من أسفل العمود أما تيار الماء الملوث فيتم دفعه من أعلى فتعمل مادة الحشو (ذات مساحة سطح كبيرة) على تحول المركبات المتطايرة من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية وتخرج مع الهواء من أعلى العمود أما الماء فيخرج من أسفل العمود بعد أن يتم معالجته شكل (15-5).



شكل 15-5. شكل عمود الاستخلاص الهوائى

ب- الادمصاص بالكربون Carbon adsorption

وفى هـــذه الطريقة يتم استخدام الكربون النشط الذىله قدرة كبيرة على إزالة وادمصـــاص المركـــبات العضـــوية الســـامة من المخلفات السائلة وتتم هذه العملية باســـتخدام جهاز التلامس Contractor وهو عبارة عن عمود خارجى به الواح من planum يوجـــد فـــيها حبيبات الكربون النشط ويتم تغذية العمود بالماء الملوث من أعـــلى بينما يخرج الماء المعالج من أسفل والعمود عادة ما يجهز بنظام لغسيل الكربون بعـــد الاســـتخدام لتنشيطه أو لإضافة كربون جديد ويتأثر ادمصاص الملوثات على ســـطح الكـــربون النشط بالعديد من العوامل فنجد على سبيل المثال أن المواد قليلة الذوبان تدمص بدرجة أكبر من المواد عالية الذوبان كما أن الجزيئات الكبيرة تدمص بدرجـــة أكـــبر من الجزيئات الصغيرة كما أن المركبات ضعيفة التأين تدمص بدرجة أعـــلى اما المركبات العضوية غير المشبعة فتدمص بدرجة أكبر من المركبات العضوية المشبعة ويوضح شكل رقم (5 - 16) رسم توضيحى لوجود المعالجة بالادمصاص.



شكل 5-16. رسم توضيحى لوحدة المعالجة بالادمصاص

جـ- الأكسدة الكيميائية Chemical oxidation

وتهدف هذه العملية إلى أكسدة المواد السامة باستخدام مواد مؤكسدة وتحويلها إلى مركـــبات أقل سميه وتتم عملية الأكسدة فى أحواض ويتم تغذية الماء الملوث من أحـــد جـــانبى الحوض ويخرج الماء المعالج من الجانب الآخر أما المادة المؤكسدة فيتم إضـــافتها بعـــد دخـــول الماء مباشرة إلى الحوض وتخلط مع الماء بواسطة خلاطات ميكانيكية ويجب أن تتم عملية الخلط بكفاءة تامة وسرعة كبيرة ومن المواد المؤكسدة التى تستخدم فى هذه العملية:

(i) الأوزون

ويســـتخدم منذ زمن طويل كمادة مطهره وهو مادة مؤكسدة قوية يتم إنتاجها مـــن الأكســـجين الجوى باستخدام الطاقة الكهربائية فينشطر جزئ الأكسجين إلى ذرتـــين نشطتين (O^-) وتتفاعل ذرة الأكسجين النشط مع جزئ الأكسجين لتكوين الأوزون (O^3). وفى هـــذه العملية يتم إضافة الأوزون على هيئة غاز إلى المياه الملوثة حيث يتفاعل الأوزون مع المركبات العضوية السامة وتحويلها إلى مركبات غير سامه فعـــلى ســـبيل المـــثال يتفاعل الأوزون مع الفينول مكونا حمض الأكساليل كما يتم أكسدة الكحوليات بواسطة الأوزون لتكوين أحماض أمينية.

(ii) الـــــكلور

وهـــو غاز كثيف يستخدم فى تطهير الماء لقتل الجراثيم وعند خلط غاز الكلور مع الماء ينتج حمض الهيبوكلورويس Hypochlorous acid.

$$2\ Cl + H_2O \rightarrow HOCl + H^+ + Cl$$

ويستخدم الكلور فى تدمير ذرة السباتيد حيث يتحول تحت الظروف القاعدية إلى مواد غير سامة.

$$CN + OCl \rightarrow C\ NO + Cl$$

وفى الوســـط القلوى يتحول كلوريد السياتوجين إلى سياتيدصوديوم ثم إلى غاز

النيتروجين وثانى أكسيد الكربون.

$$CNCl + 2\,NaOH \rightarrow NaCNO + H_2O + NaCl$$

$$NaCNO + 3\,Cl_2 + 4\,NaOH \rightarrow N_2 + 2CO_2 + 6\,NaCl + 2\,H_2O$$

د- التناضح العكسى Reverse osmosis

يعتبر الأسموزية العكسية هى المعالجة المفضلة للماء الخام الذى يحتوى على أملاح ذائبة كلية أكثر من 700 ppm مثل مياة البحر وأيضاً قد تكون مفيدة عندما يكون تلوث المياة بالمواد العضوية. كبيرا و تحتوى المياة على كميات قليلة من الأملاح الكلية الذائبة. وتستخدم الأسموزية العكسية فى الأغراض الصيدلية عند إنتاج مياه الحقن وعموماً يكون الناتج محتويا على حوالى 5-10% من الأملاح الكلية الذائبة الإبتدائية ويتم إزالة الملوثات العضوية تماماً.

والفكرة الأساسية للأسموزية العكسية تكون كالتالى:

عند وضع غشاء شبة منفذ بين ماء بحر وآخر عذب تحت نفس الضغط فإن الماء العذب ينتقل إلى ماء البحر عبر الغشاء شبة المنفذ وهو عكس الأسموزية حيث يتم فيها إنتقال الماء المالح إلى العذب عبر الأغشية شبة المنفذة أى من التركيز الأعلى إلى التركيز الأقل ولذلك فقدرت التنا العكسى يلزمة ضغط على الماء المالح ويتوقف الضغط اللازم للتشغيل على نوع الغشاء المستعمل وعلى درجة تركيز الأملاح فى الماء.

هـ- التحلل الكهربائى Electrodialysis

يتم إستخدام التحلل الكهربائى لتحلية المياة التى تحتوى على أملاح كلية ذائبة حوالى 2000 ppm بحيث يصل تركيز الأملاح الكلية فى هذه المياه إلى حوالى 500 ppm.

وفى هذه الطريقة تتعرض المياة لمجال كهربائى وذلك بوضع قطبين كهربائيين

أحدهما موجب والأخر سالب فى الأحواض التى تمر بها المياة فتتحلل الأملاح الموجودة فى المياة إلى أيونات موجبة تتحرك ناحية القطب السالب وأيونات سالبة تتحرك ناحية القطب الموجب ويوضع فى مسار الأيونات المتحركة عدد من الأغشية التى تحمل شحنات كيميائية بعضها موجب والأخرى سالبة (بحيث لا يتجاور غشائين بنفس الشحنة). عند مرور المياة فى الغرف المتكونة من هذه الأغشية تتنافر الأيونات الموجبة مع الغشاء ذو الشحنة الموجبة بينما تنجذب إليه الأيونات السالبة وتمر خلالة وكذلك يتنافر الغشاء ذو الشحنة السالبة مع الأيونات السالبة وتمر خلالة الأيونات الموجبة وبذلك يقل تركيز الأملاح فى غرفة بين غشائين متجاورين ويزيد فى غرفة اخرى وتخرج المياة التى قل فيها التركيز للإستعمال. وفى كثير من الأحوال عندما يكون احتمال تعرض العامه للماء المعالج كثيراً فإن الهدف من المعالجة هو خفض تعرض العامه للفيروسات والبكتريا الممرضة الأخرى.

ويعتقد أن تطهير المياه من الفيروسات يتأثر سلبيا بوجود الغرويات المعلقة والصلبة فى الماء لذلك فهذه المواد الصلبة يجب إزالتها بواسطة المعالجة المتقدمة قبل تطهير المياه وترتيب المعالجات كما هو متبع فى الولايات المتحدة الأمريكية يكون كالتالى: المعالجة الثانوية يتبعها تجمع كيماوى ثم ترسيب و ترشيح وبعد ذلك التطهير.

ويفترض أن عملية التطهير ضرورية لإنتاج مياه خالية من الفيروسات ويوضح الجدول رقم (5-10) نوعية الماء الناتجة من بعض المعالجات المتقدمة.

جدول 5-10. نوعية المياه الناتجة من المعالجة المتقدمة فى بعض بلدان ولاية كاليفورنيا

المقياس mg/l	Long Beach	Los Coyotes	Romona
BOD_5	5	9	4
المواد العلقه	-	5	-
النيتروجين الكلى	-	-	-
NH_3-N	3.3	13.6	4.4
NO_3-N	15.4	1.1	3

تابع جدول 10-5.

Org-N	2.2	2.5	1.3
Ortho P	30.8	33.9	21.7
بكتريا القولون (MPN/10 0 ml)	-	-	2
Ca+	54	65	58
Mg	17	18	14
Na	186	177	109
K	16	18	12
SO_4	212	181	123
Cl	155	184	104
EC, ds/m	1.35	1.44	1.02
المواد الذائبة الكلية	867	827	570
الصوديوم الذائب (%)	63.2	59.2	51.7
نسبة الصوديوم المتبادل	5.53	4.94	3.37
البورون	0.95	0.95	0.66
القلويه $CaCO_3$	-	526	197
العسر الكلى $CaCO_3$	212	242	206

المصدر: **Asano and Tchobanoglous (1987)**.

المعالجـــة المتقدمة فى مشاريع الصرف الصحى فى هذه المدن تتبع المعالجة الثانوية وتشـــمل إضـــافة مواد كيميائية مجمعه (بوليمر + Alum) وتتبع ذلك الترشيح خلال الرمل أو استخدام مرشحات الكربون النشط.

التطهير Disinfection

تطهـــير المـــياه هـــو إبـــادة البكتريا المسببة للأمراض وكذلك بكتريا القولون coliform وعملـــية الـــتطهير لا تغـــنى عما يسبقها من عمليات الترسيب والترشيح ولكنها مكمله لما يسبقها من عمليات وتتم عملية التطهير بإحدى الطرق الأتية:

١. التطهير بالكلوره Chlorination

وتتم عن طريق إضافة الكلوره إلى الماء بإحدى الطرق الأتية:

أ- المسحوق الأبيض

وهـــو عبارة عن كلوريد جيد وهو مسحوق أبيض مائـــل للاصفرار له رائحة قويـــة نفـــاذة يحتوى على 32% من وزنـــــه كلور فعال وترتيبه الكيميائى -OCl $Ca(OH)_2$

ب- هيدكلوريد الكالسيوم

وترتيـــبه الكيمـــيائى $Ca(OCl)_2\ 4\ H_2O$ وتتراوح كمية الكلور الفعال فيه من 60-70% مـــن وزنـــه ولا تـــتأثر بالتخزين وجرعة الكلور التى يتم إضافتها إلى مياه الصرف الصحى تتوقف على مدى تلوث هذه المياه وعموما فهى تتراوح بين 5-15 mg/l وغالبا ما تتطلب المعالجة المتقدمة خبرة إضافية 120 دقيقة ويقضى الكلور على البكتريا عن طريق انتاج أكسجين أحادة الذرة قادر على القضاء على البكتريا.

$$H_2O + Cl_2 \rightarrow HCl + HOCl$$

$$HOCl + HCl + O$$

وهناك بعض النظريات تقول أن الكلور يعمل على حرق خلايا البكتريا وخاصة وقد يحولها إلى مواد قابلة للذوبان وبالتالى يقضى عليها.

٢- التطهير بالأوزون Ozone

وهو مؤكسد قوى وفعال فى عملية التطهير واستخدامه غير مصحوب بطعم أو رائحة ويختفى بعد فترة قصيرة من استخدامه بعكس الكلور.

٣- استخدام الأشعة فوق البنفسجية Ultra-violet Rays

وهـــذه ذات تأثير فعال فى عملية التطهير ولكنها مكلفة ولا تسبب أى طعم أو رائحة للماء.



الفصل السادس

إستخدام مياه الصرف الصحى فى الرى

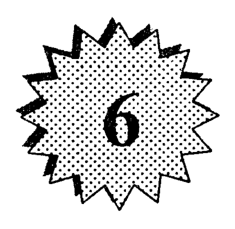
❖ شروط إستخدام مياه الصرف الصحى فى الرى

- كمية المياه الواجب إستخدامها
- توقيت الرى
- طرق الرى
- الغسيل
- الصرف

❖ استراتيجية إدارة مياه الصرف الصحى المعالجة فى الزراعة

- اختيار المحصول (مشكلات الملوحة والسمية - مشكلات صحية)
- اختيار طريقة الرى

❖ الإدارة الحقلية عند إستخدام مياه الصرف الصحى فى الرى



إدارة استخدام مياه الصرف الصحـــى
فى الـــــرى

الشروط الواجب توافرها لاستخدام مياه الصرف الصحى فى الرى:

يعـــرف الرى بأنه إضافة المياه إلى التربة بغرض إمداد النبات بالماء اللازم لنموه. ويعتـــبر الـــرى ضرورة حتمية فى المناطق الجافة وشبه الجافة للحصول على محصول إقتصـــادى. والشـــروط الواجب توافرها لنجاح عملية الرى بوجه عام تتلخص فيما يلى:

١. إضافة كمية المياه اللازمة لنمو النبات.
٢. يجب أن تكون نوعية المياه مقبولة.
٣. إضافة المياه فى مواعيد مناسبة.
٤. استخدام طريقة الرى المناسبة.
٥. منع تركم الأملاح فى منطقة الجذور وذلك عن طريق الغسيل.
٦. التحكم فى ارتفاع مستوى الماء الأرضى عن طريق الصرف.
٧. إمداد النبات باحتياجاته المثلى من العناصر الغذائية.

وعـــند اســـتخدام مياه الصرف الصحى فى الرى يجب تطبيق الشروط السابق ذكـــرها. ويعتـــبر احـــتواء مـــياه الصرف الصحى على العناصر الغذائية ميزه يجب

استخدامها وهذه الميزة لا تتوفر فى مياه الرى التقليدية ويمكن فى هذه الحالة عدم استخدام الأسمدة.

ومع ذلك فيجب الأخذ فى الاعتبار المتطلبات الصحية والبيئية عند استخدام مياه الصرف الصحى المعالجة فى الرى.

١. كمية المياه الواجب استخدامها

من المعروف أن النبات يفقد أكثر من 99% من الماء الممتص عن طريق البخر-النتح. ولذلك فإنه عمليا يكون احتياجات المحصول المائية مساوية احتياجات البخر-النتح. ويوجد الآن برنامج كمبيوتر يدعى CROPWAT متاح فى منظمة الأغذية والزراعة يمكن بواسطته حساب الاحتياجات المائية للمحاصيل عن طريق البيانات المناخية. ويوضح الجدول رقم (1-6) الاحتياجات المائية لبعض المحاصيل مع الأخذ فى الاعتبار أن الكمية الفعلية لمياه الرى يجب تعديلها تبعا للاحتياجات الغسيلية وكفاءة طريقة الرى وغيرها.

٢. توقيت الرى Scheduling of irrigation

للحصول على المحصول الأعظم يجب إضافة الماء إلى المحاصيل قبل أن يصل الجهد الرطوبى فى التربة إلى مستوى يصبح فيه معدل البخر-نتح أقل من الجهد الرطوبى. والعلاقة بين المحصول الأعظم والحقيقى وبين البخر- نتح يمكن توضيحه فى العلاقة التالية:

$$\left(1-\frac{Ya}{Ym}\right)=ky\left(1-\frac{ETa}{ET_m}\right)$$

جدول 6-1. الاحتياجات المائية والحساسية للإمداد المائى وكفاءة استخدام المياه.

المحصول	الاحتياجات المائية مم (موسم النمو)	الحساسية للإمداد المائى (ky)	كفاءة استخدام المياه بالنسبة للمحصول kg/m3 (% moisture)
البرسيم الحجازى	800-1600	منخفض إلى متوسط (0.7-1.1)	1.5-2.0 hay (10-15%)
الموز	1200-2200	عالـــــى (1.2-1.35)	المحصول : 2.4-4 الثمار (70%)
الفول	300-500	متوسط ــ عالى (1-15)	Lush 1.5-2.0 جاف 0.3-0.6
الكرنب	380-500	منخفض ــ متوسط (0.95)	12-20 رؤوس (90-95%)
موالح	900-1200	منخفض ــ متوسط (0.8-1.1)	2-5 ثمار 85% ليمون 70%
القطن	700-1300	متوسط ــ منخفض (0.85)	0.4-0.6 بذور (10%)
الفول السودانى	500-700	منخفض 0.85	0.6-0.8
الذرة	500-800	عالـــــى 1.25	0.8-1.6 حبوب (10-13%)
البطاطس	500-700	متوسط ــ عالى 1.1	4-7 70-75%
الأرز	350-700	عالـــــى	0.7-1.1
الذرة الرفيعة	450-650	متوسط ــ منخفض 0.9	0.6-1.0 حبوب (12-15%)
القمح	450-650	متوسط ــ عالى الربيع 1-15 الشتاء 1-0	0.8-1.0 حبوب (12-15%)

المصدر: FAO (1979)

حيــــث:

Ya = المحصول الفعلى

Ym = المحصول الأعظم

Ky = معامل استجابة المحصول

ET_a = البخر نتح الفعلى

ET_m = اقصى بخر نتح

ويوجد العديد من الطرق لتقدير أوقات الرى المثلى. والعوامل التى تحدد أوقات الـــرى هـــى: ســـعة مسك الماء المتاح فى التربة وعمق منطقة الجذور وطريقة الرى وظروف الصرف.

٣- طرق الرى

يوجد العديد من طرق الرى وهى:

١. الرى بالغمر: وهو إضافة الماء إلى الحقل ليغمره بأكمله.

٢. الرى بالخطوط: وهو إضافة الماء بين الخطوط فيصل الماء إلى الخطوط حيث تتركز جذور النباتات بواسطة الفعل الشعرى.

٣. الـــرى بالـــرش: وهو إضافة الماء رشا ويصل إلى التربة بشكل يشبه المطر ومعدل إضافة الماء يتم التحكم فيه بحيث لا يتجمع فوق سطح التربة.

٤. الرى تحت السطحى: وهو إضافة الماء أسفل منطقة الجذور بحيث يعمل على تشبع منطقة الجذور بواسطة الخاصية الشعرية ويتم ذلك باستخدام أنابيب تحت سطح التربة.

٥. الرى الموضعى: وفيه يضاف الماء حول كل نبات أو مجموعة من النباتات وبالتالى تنشـــبع منطقة الجذور فقط بالماء (الرى بالتنقيط) ويتم التحكم فى معدل الإضافة لـــتفى احتـــياجات النـــبات من البخر-نتح وبالتالى يكون الفاقد من الماء قليل. يوضح الجدول رقم (6-2) بعض الخصائص الأساسية لنظم الرى.

٤. الغسيل Leaching

تحـــت ظروف الرى يجب إضافة زيادة من مياه الرى لكى تتحلل منطقة الجذور

وذلـــك لإزالـــة الأملاح المتجمعة نتيجة البخر الناجم من مياه الرى. وعملية إزاحة الأمـــلاح مـــن منطقة الجذور يطلق عليها عملية الغسيل ويطلق على جزء مياه الرى الذى يحرك الأملاح الزائدة بالاحتياجات الغسيليه Leaching fraction.

$$\text{Leaching fraction (Lf)} : \frac{\text{عمق الماء المغسول أسفل منطقة الجذور}}{\text{عمق الماء المضاف إلى السطح}}$$

والتحكم فى ملوحة التربة عن طريق غسيل منطقة الجذور يصبح هاما جداً كلما زادت ملوحة مياه الرى.

٥. الصرف

يعـــرف الصرف بأنه التخلص من الماء الزائد عن حاجة التربة الزراعية من على سطح التربة أو أسفلها للسماح بنمو مثالى للنبات. ويطلق على هذه العملية الصرف السطحى بينما يطلق على إزالة الماء الزائد تحت سطح التربة بالصرف تحت السطحى. ويعتـــبر الصرف غاية فى الأهمية لكى ينمو المحصول بصورة مثالية وتزداد هذه الأهمية على درجة الخصوص فى المناطق الجافة وشبه الجافة لمنع التمليح الثانوى للتربة.

جدول 2-6 الخصائص الأساسية لبعض طرق الرى

طريقة الرى	الطبوغرافيا	المحاصيل	ملاحظات
Spaced borders الرى بالشرائح	الانحـــدار متدرج ويكون أقـــل من 1% ويفضل 0.2%	البرســـيم الحجـــازى والمحاصـــيل الكثيفة ذات الجذور العميقة	- أفضل طرق الرى السطحى بالنســبة للمحاصيل الكثيفة والمتجاورة - يشترط وجود انحدار وقبل بسيط فى طبوغرافيا المنطقة - كفاءة الرى 45-60%
الـــرى بـــالخطوط الكنتوريه	مـــيل بـــتراوح بـــين 2-25% ويفضـــل أقل من ذلك	الـــتى تزرع على خطوط مـــثل البطاطس ومحاصيل الخضر وأشجار الفاكهة	- تستخدم فى رى المحاصيل فى الأراضـــى المنحدرة وذلك لـــتلافى التعرية عند سقوط الأمطار الغزيرة - كفاءة الرى 50-65%

تابع جدول 6-2.

الرى بالرش	الميل 1-35%	جميع المحاصيل	- ارتفاع تكلفة التشغيل والصيانة - طريقة جيدة فى الأراضى الرملية عالية الإنتاج - تعتبر الطريقة الوحيدة العملية فى الأراضى ذات الانحدار الكبير - كفاءة الرى 60-70%
الرى تحت السطحى	مستوية	محاصيل غير عميقة الجذور مثل البطاطس	- تتطلب تسوية - أراضى ذات نفاذية جيدة - كفاءة الرى 50-70%
الرى بالتنقيط	جميع الظروف المناسبة لزراعة المحاصيل على خطوط	المحاصيل المتزرعة على خطوط وأشجار الفاكهة	- طريقة ناجحة فى الرى بماء ملحى - كفاءة الرى 75-85%

المصدر: FAO (1988).

نتيجة ارتفاع مستوى الماء الأرضى مع الرى فى حالة عدم وجود الصرف فإن الخاصية الشعرية سوف تنقل الأملاح إلى سطح التربة فإذا لم تتحكم فى هذه العملية فإن تجمع الأملاح سوف يستمر وينتهى إلى تملح التربة. وفى مثل هذه الحالات فإن الصرف تحت السطحى يمكنه التحكم فى ارتفاع مستوى الماء الأرضى ويمنع تملح التربة.

استراتيجية إدارة مياه الصرف الصحى المعالجة فى المزرعة

إن نجاح استخدام مياه الصرف الصحى المعالجة فى إنتاج المحاصيل سوف تعتمد بدرجة كبيرة على اتباع استراتيجية تهدف إلى تعظيم المحصول ونوعيته والحفاظ على إنتاجية التربة وحماية البيئة. ويوجد العديد من الاختيارات المتاحة واستخدام ومزج هذه الاختيارات سوف يقدم بالضرورة حلول مثالية للظروف التى تتعامل معها. فالمستخدم لمياه الصرف المعالجة يجب أن تتوفر لديه المعلومات عن كمية المياه المتاحة

ونوعيتها وذلك من أجل وضع خطة مناسبة لإتباعها فى المزرعة (جدول رقم 6-3).

وبصفة أساسية فإن استراتيجية استخدام مياه الصرف المعالجة فى الزراعة تشمل:

- اختيار المحصول
- اختيار طريقة الرى
- اختيار طرق الممارسة الزراعية

وعـــندما تـــتوفر للمزارع مصدر مائى إضافى من مياه الرى العادية تصبح عنده الحرية فى استخدام كل المصدرين بطريقتين:

١. خلط مياه الرى العادية مع مياه الصرف المعالجة.

٢. استخدام كلا المصدرين بالتناوب.

وسوف تتم مناقشة هذه النقاط على حده.

١. اختيار المحصول Crop selection

أ. التغلب على مشاكل الملوحة

تخـــتلف النـــباتات فى مدى قدرتها على تحمل الملوحة فبعض النباتات تستطيع التأقـــلم اسموزيا واستخلاص المياه من الأتربة الملحية والبعض الآخر ل يستطيع. ففى المناطق التى يتعذر السيطرة فيها على تجمع الأملاح عند مستوى مقبول فيمكن اختيار المحصـــول الـــذى يمكنه تحمل درجة الملوحة الموجودة فى أتربة هذه المناطق وفى نفس الوقت يعطى محصول اقتصادى.

جدول 6-3. المعلومات المطلوبة عن الإحتياجات من مياه الصرف الصحى المعالجة ونوعيتها

المعلومات	إتخاذ القرار
١. إمداد المياه	
أ ـــ الكمـــية الكلية للمياه ومدى توفرها خلال موسم النمو	- المساحة الكلية التى يتم ريها
ب ـــ توفر الماء خلال العام	- أمـــاكن تخـــزين للمياه إما بالمزرعة أو بالقرب من مكـــان معالجـــة المياه واحتمال استخدام المزارع المائية

تابع جدول 6-3.

ج ــ معدل تدفق المياه m^3/day	- المســاحة الممكــن زراعتها وأوقات الري وعمل تصميم لنظام الرى
د ــ طريقة توصيل المياه هل مستمرة أم متقطعة ــ أم عند الحاجة	- تصميم نظام الرى ــ وأوقات الرى
د ــ طــريقة الإمداد إلى المزرعة ــ أحواض تخزين لضخها بواسطة المزارع	- إنشاء مضخة وأنابيب لنقل المياه إلى نظام الرى
٢. نوعية المياه	
- التوصيل الكهربائى أو الأملاح الكلية الذائبة	- اختيار المحصول ــ طريقة الرى والغسيل الممارسات الزراعية
- تركيز الكاتيونات مثل Na, Mg, Ca^+	- معرفة خطورة الصوديوم واتخاذ خطوات تلافيه
- تركــيز العناصــر الســامة مثل العناصر الثقيلة والبورون والكلور	- تقسيم السمية المحتملة واتخاذ خطوات تلافيها
- تركيز العناصر الصغرى	- لمعرفة السمية المحتملة للمحصول وتلافيها
- تركــيز العناصــر الغذائــية الكــبرى وخاصة النيتروجين	- تحديد كمية الأسمدة لتفادى التسميد الزائد واختيار المحصول
- مستوى المواد المعلقة	- اختيار نظام الرى المناسب لتفادى مشاكل انسداد المواسير
- مستوى النيماتوداوبكتريا القولون	- اختيار المحصول المناسب وطريقة الرى

ويوضــح الجــدول رقم (6-4) قائمة بالمحاصيل مقسمه تبعا لدرجة تحملها أو حساسيتها للملوحة.

جدول 6- 4. درجات تحمل المحاصيل المختلفة للملوحة

نوع المحصول	متحمله	متوسط التحمل	متوسط الحساسية	حساسة
محاصيل الألياف والحبوب والسكر	الشعير القطن بنجر السكر	لوبيا العلف الشوفان الراى الذرة الرفيعة فول الصويا القمح	الفول الذرة الفول السودانى الأرز قصب السكر عباد الشمس	الفاصوليا السمسم
محاصيل العلف والحشائش	- حشيشة برمودا - حشيشة الملح الصحراوية - حشيشة القمح - الراى البرى - الراى الروسى	- حشيشة الراى الإيطالية	البرسيم الحجازى لوبيا العلف ذرة (علف) البرسيم البلدى	
محاصيل الخضر	أسبرجس	خرشوف بنجر أحمر كوسا	بروكلى- خيار كرنب- قرنبيط ذرة سكرية باذنجان خس- فلفل بطاطس- لفت بطاطا- طماطم بطيخ	فول جزر بامية بصل
محاصيل الفاكهة	نخيل البلح	تين زيتون بابايا أناناس	عنب	لوز- تفاح خوخ أتوكادرا توت أسود كرز جريب فروت ليمون حلو ليمون- مانجو برتقال- كمثرى فراولة- مشمش برقوق

يوضـــح الشكل (6-1) العلاقة بين المحصول النسبى وملوحة التربة مع اعتبار أن تحمل المحاصيل للأملاح مقسم إلى أربع درجات (متحمله للأملاح-متوسطة التحمل-متوسطة الحساسية-حساسة) ومن الشكل يمكن استنتاج النتائج التالية:

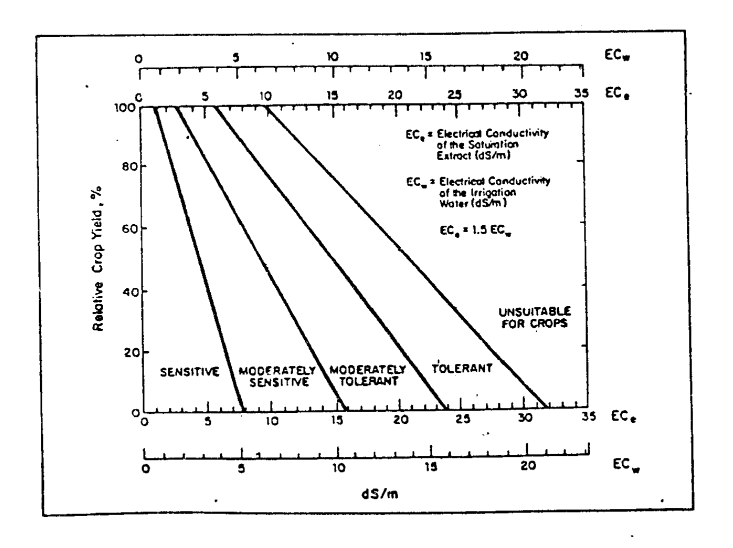
١. يمكـــن الحصول على المحصول الأعظم لكل المحاصيل عند الرى بمياه ذات ملوحة تقل عن 0.7 ds/m.

٢. عند استخدام مياه رى ضعيفة إلى متوسطة الملوحة (0.7-3.0 ds/m) فإن الحصول عـــلى المحصـــول الأعظم مازال ممكنا ولكن يجب مراعاة استخدام الاحتياجات الغسيلية من أجل الحفاظ على ملوحة التربة فى مدى تحمل المحاصيل المزروعة.

٣. عـــند اســـتخدام مياه ذات ملوحة أعلى (>3.0ds/m) لزراعة محاصيل حساسة لـــلملوحة فـــإن الاحتياجات الغسيلية سوف تكون كبيرة (2.5-30) وغير عمليه وذلـــك نتيجة استخدام كميات كبيرة من المياه وفى هذه الحالة يجب عدم زراعة المحاصـــيل الحساســـة واختيار محاصيل أكثر تحملا للملوحة تحتاج إلى احتياجات غسيلية أقل.

٤. استخدام مياه ذات ملوحة تزيد عن 3 ds/m فى الرى يكون قاصرا على الأراضى عالية النفاذية مثل الأراضى الرملية وزراعة المحاصيل المحتملة الملوحة.

وبوجه عام فعندما يتعذر التحكم فى ملوحة التربة فى الحدود المقبولة للمحصول المـــترع فيجـــب استبدال المحصول بأخر أكثر مقاومة للملوحة وهذا سوف يؤدى بالضرورة إلى إمكانية زيادة المساحة المترعة وبالتالى الإنتاج. وفى جميع الأحوال يجب عمـــل دراســـة اســـتطلاعية للتعرف على إمكانية الرى والمحصول المترع والجدوى الاقتصادية.



شكل رقم 6-1. أقسام تحمل المحاصيل الزراعية للملوحة

ب- التغلب على مشكله السمية

تختلف مشكلة السمية عن مشكلة الملوحة من ناحية الها تحدث فى النبات نفسه ولـــيس بسبب نقص المياه. فالسمية تنتج عند امتصاص النبات لأيونات معينة من مياه الـــتربة وتجمع هذه الأيونات فى الأوراق خلال عملية النتح لدرجة تؤدى إلى الأضرار بالنبات.

ودرجة الضرر تعتمد على تركيز الأيونات السامة وحساسية المحصول فإذا كان الضرر شديداً فإن ذلك يؤدى إلى خفض المحصول.

والأيونـــات الســـامة الشائعة فى الماء هى الكلوريد والصوديوم والبورون وهذه الأيونـــات جمـــيعها توجـــد فى مياه الصرف الصحى المعالج. وبعض المحاصيل تكون

حساسة لهذه الأيونات السامة ويوضح الجدول رقـــــم (6-7 و 6-6 و 6-5) حساسية المحاصـــيل لأيونـــات الصوديوم والكلوريد والبورون وبوجه عام فإن أعراض السمية يمكن أن تظهر على أى محصول اذا كان تركيز الأيونات السامة عاليا.

جدول 6-5. تحمل بعض المحاصيل النسبى للصوديوم المتبادل

محاصيل متحمله	محاصيل متوسطة التحمل	محاصيل حساسة
البرسيم الحجازى	الجزر — البرسيم	أفوكادوا — فواكه متساقطة الأوراق
الشعير	الخس — قصب السكر	الفاصوليا — القطن
البنجر	الشوفان — البصل	الذرة — البسلة
بنجر السكر	الفجل — الأرز	جريب فروت — برتقال
حشيشة برمودا	الرأى — حشيشة الرأى	الخوخ — مانجارين (يوسفى)
القطن	الذرة الرفيعة	العدس — الفول السودانى
حشيشة رودس	السبانخ — الطماطم	لوبيا العلف
حشيشة القمح	القمح — الخردل	Mash (*Phaseolus mungo*)
(*Agropyron cristatum*)	Clover, Ladino	Mung (*Phaseolus aurus*)
حشيشة كارنال	(*Trifolium repens*)	
(*Diplachna fusca*)	(Festuca arundiancea)	Gram (*Cicer arietinum*)

المصدر: Abrol (1982)

والقـــيم بالجدول (6-6) توضح أقصى قيم يمكن للمحصول تحملها بدون نقص فى المحصول أو النمو الخضرى:

١. الأرقـــام المعطـــاه تمـــثل أقصى تركيز مسموح به فى مياه الرى وهذه القيم تم اســـتنتاجها مـــن قـــيم عجينة التربة المشبعة (ECe) بافتراض أن الاحتياجات الغسيلية هى 15-20% وأن Ecd = 1.5 Ecw.

٢. أقصى قيم مسموح بها فى مياه الرى عندما يكون الرى سطحيا وليس رشا على الأوراق لأن الرش قد يسبب أحتراق الأوراق عند تركيزات أقل بكثير من القيم المذكورة.

يمكـــن أيضا لأيونات الصوديوم والكلوريد أن تمتص مباشرة إلى داخل النبات عندما تتساقط المياه على الأوراق خلال عملية الرى بالرش وهو ما يحدث غالبا خلال فـــترات الحـــرارة العالية والرطوبة المنخفضة وامتصاص الأيونات عن طريق الأوراق يسرع من معدل تراكم الأيون السام وقد يكون مصدراً أساسيا للسمية.

بالإضـــافة إلى الأيونات الثلاثة السابقة فيوجد العديد من العناصر الصغرى التى تكـــون ســـامة للنبات ولكن لحسن الحظ فإن أغلب المياه وكذلك مياه رى الصرف الصـــحى المعالجـــة تحـــتوى على هذه العناصر بتركيزات منخفضة لا تشكل مصادر للسمية بالنسبة للنبات. وعلى الرغم من ذلك فإن مياه الصرف الصحى الخاصة بالمدن قـــد تحتوى على عناصر ثقيلة بتركيزات تؤدى إلى رفع تركيز هذه العناصر فى التربة وبالتالى تتجمع داخل النبات وتسبب انخفاض المحصول.

جدول رقم 6-6 . تحمل شتلات وأصول بعض محاصيل الفاكهة للكلوريد

المحصول	الأصول أو الشتلات	أقصى تركيز من الكلوريد مسموح به دون أن يحدث ضرراً للأوراق	
		منطقة الجذور Cle (me/l)	مياه الرى Clw (me/l)
الأصول أفوكادوا Avocado (*Persea americana*)	غرب الهند West India	7.5	5.0
	جواتيمالا Guatemalan	6.0	4.0
	مكسيك	5.0	3.3
الموالح Citrus (*Citrus* spp.)	Sunki Maxndarins جريب فروت Cleopatra mandarin	25.0	16.6
	ليمون برتقال حادق اندارين ponkan	15.0	10.0
	برتقال سكرى Savage citrange	10.0	6.7

تابع جدول رقم 6–6 .

	Cuban shaddock		
	Trifoliate برتقال		-
Grape عنب	Salt creek	40.0	27.0
(*Vitis* spp.)	Dog Ridge	30.0	20.0
فواكه ذات نواه	Marianna	25.0	17.0
حجرية	Lovell, shalil	10.0	6.7
Stone fruits (*Prunus* spp.)	Yunnan	7.5	5.0
شتلات			
Berries	Boysenberry	10.0	6.7
(*Rubus* spp.)	Idian summer	10.0	6.7
	Rasberry	5.0	3.3
عنب	طومسون بدون بذر	20.0	13.3
(*Vitis* spp.)	كاردينال	10.0	6.7
	الورد الأسود	10.0	6.7
Strawberryفراوله	Lassen	7.5	5.0
(*Fragaria* spp.)	Shasta	5.0	3.3

المصدر: Mass (1984).

جدول 6-7. التحمل النسبى لتركيز البورون فى محلول التربة فى بعض المحاصيل

محاصيل شديدة الحساسية (< 0.5 mg/l)	الليمون التوت الأسود
محاصيل حساسة (0.5–0.75 mg/l)	أفوكادوا ــ جريب فروت ــ برتقال ــ مشمش ــ خوخ كراز ــ تين ــ برقوق ــ عنب ــ لوز ــ بيكان ــ لوبيا العلف ــ بصل
محاصيل حساسة (0.75–1.0 mg/l)	ثوم ــ بطاطا ــ قمح ــ شعير ــ عباد الشمس ــ فول سمسم ــ ترمس ــ فراوله ــ خرشوف ــ فاصوليا فاصوليا الليما ــ فول سودانى
محاصيل متوسطة الحساسية (1.0–2.0 mg/l)	فلفل أحمر ــ بسلة ــ جزر ــ فجل ــ بطاطس ــ خيار

تابع جدول رقم 6-7.

محاصيل متوسطة التحمل (2.0–4.0 mg/l)	خس ـــ كرنب ـــ كرفس ـــ لفت ـــ شوفان ـــ ذرة دخان ـــ خردل ـــ برسيم ـــ كوسة ـــ شمام ـــ خرشوف حشيشة كنتاكى
محاصيل متحمله (4.0–6.0 mg/l)	ذرة رفيعة ـــ طماطم ـــ برسيم حجازى ـــ بقدونس بنجر مائدة ـــ بنجر سكر ـــ Vetch, purple
محاصيل شديدة التحمل (6.0–15.0 mg/l)	القطن ـــ اسبرجس

ولقد أظهر حصر استخدام مياه الصرف الصحى أن أكثر من 85% من العناصر الثقيلة المضافة عن طريق الرى قد تتجمع فى الطبقة السطحية من التربة وبالتالى يمكن أن يكـــون لها تأثير سيئ على النبات والمحصول ولذلك فعند استخدام مياه الصرف الصحى المعالجة فى الرى يجب مراقبة تركيز العناصر الثقيلة فى التربة والنبات.

جــ- منع المشاكلات الصحية

مـــن وجهة نظر الاستهلاك الآدمى للمحاصيل والخطورة الصحية المتوقعة فإن المحاصيل المتزرعة يمكن تقسيمها إلى المجموعات التالية:

محاصيل غذائية	+ تؤكل طازجة
	– تؤكل مطبوخة
محاصيل علف	– يأكلها الحيوان مباشرة من الحقل
	– يأكلها الحيوان بعد حصادها
نباتات الحدائق	– فى مناطق يرتادها العامه
	– مناطق لا يرتدها العامه
غابات وحدائق	– تجارية (فواكه ـــ أخشاب ـــ وقود وفحم
	– حماية البيئة

ومن الناحية الصحية فإن مياه الصرف المعالجة يجب أن تكون ذات نوعية عالية مـــن ناحـــية انخفاض البكتريا والفيروسات فيها عند استخدامها لرى محاصيل معينة خاصة تلك التى تؤكل طازجة أما المحاصيل التى لا يتعرض لها الانسان فيمكن زراعتها

بمياه ذات نوعية ميكربيولوجيه أقل. ولقد وضعت منظمة الصحة العالمية تقسيما للمحاصيل تبعا لتعرض الانسان لها وخطوات حماية الصحة الواجب اتباعها كما يلى:

القسم الأول (A): – **الحماية مطلوبة للمستهلك والعمال الزراعيين والعامة.**

– وتشمل المحاصيل الطازجة-الفواكه المنتجة تحت نظام الرى بالرش وكذلك الحشائش (الملاعب الرياضية-الحدائق العامة).

القسم الثانى (B): – **الحماية مطلوبة للعمال الزراعيين فقط وتشمل:** محاصيل الحبوب-المحاصيل الصناعية (القطن) المحاصيل التى تعلب-محاصيل الأعلاف والأشجار.

– فى بعض الحالات بعض محاصيل الخضر قد تندرج تحت القسم (B) اذا كانت هذه المحاصيل لا تؤكل طازجة مثل البطاطس.

٢. اختيار طريقة الرى

ذكرنا سابقا طرق الرى المختلفة وبوجه عام فإنه تحت الظروف العادية فإن طريقة الرى المختارة سوف تعتمد على ظروف إمداد المياه والمناخ، التربة والمحصول النامى وتكلفة طريقة الرى ومقدرة المزارع لإدارة النظام. أما عند استخدام مياه الصرف الصحى المعالجة كمصدر لمياه الرى فإن بعض العوامل الأخرى مثل تلوث النبات والمحصول والعمال الزراعيين والبيئة وملوحة التربة وخطر السمية يجب أن تؤخذ فى الاعتبار. حيث أن طريقة الرى المختارة يتوقف عليها خفض التأثيرات غير المرغوبة لمياه الصرف الصحى. ويتوقف اختيار طريقة الرى عند استخدام مياه الصرف الصحى على العوامل التالية:

- المحصول الذى تم اختياره.
- ابتلال المجموع الخضرى والثمار بمياه الرى.
- توزيع الأملاح والأيونات السامة فى التربة.
- سهولة الحفاظ على الجهد الرطوبى للتربة.

ويوضـــح الجـــدول رقم (6-8) تحليل هذه العوامل بالنسبة لطرق الرى الشائعة فنجد أن:

I. نظـــام الرى السطحى بالغمر يؤدى إلى تغطية كاملة لسطح التربة بمياه الصرف الصـــحى وعادة ما يكون نظام عديم الكفاءة . هذا النظام يمكن أن يؤدى إلى تلـــوث محاصــيل الخضار النامية قرب الأرض وأيضا المحاصيل الجذرية كما أنه يـــؤدى إلى تعـــرض عمـــال المزرعة لمياه الصرف بدرجة أكبر من طرق الرى الأخـــرى ولذلك فمن وجهة النظر الصحية وأيضا لتوفير المياه فإن طريقة الرى بالغمر هى طريقة غير مرغوب استخدامها.

II. طـــريقة الرى بالخطوط لا تؤدى إلى ابتلال سطح التربة بأكمله كما أن هذه الطريقة يمكن أن تخفض تلوث المحصول لأن النباتات تنمو أعلى الخط بعيدا عن مياه الرى ولكن الحماية الكاملة للمحصول من التلوث غير مضمونة تماما. أيضا إحتمال تعرض العمال الزراعيين للتلوث يتراوح بين عالى إلى متوسط ويتوقف ذلك على ميكنة النظام. فإذا كان انتقال مياه الرى يتم خلال أنابيب تصب فى الخطـــوط عـــن طـــريق بوابات فإن ذلك يخفض من احتمالات تلوث العمال الزراعـــيين . وبوجـــه عام فإن كفاءة طرق الرى السطحية سواء بالغمر أو فى خطوط لا تتأثر بنوعية المياه ولكن مخاطر التلوث باستخدام هذه الطرق كبيرة.

III. طـــرق الـــرى بالرش عموما أكثر كفاءة من طرق الرى بالسطحى من ناحية اســـتخدام المـــياه حيث تضمن توزيعا أكثر تجانسا ولكن هذه الطرق يمكن أن تـــؤدى إلى تلوث المحاصيل الحقلية ومحاصيل الخضر والفاكهة والعمال الزراعيين بالإضـــافة إلى أن البكتريا الممرضه التى تحتويها مياه الصرف الصحى قد تنتقل بواسطة الرشاشات إلى المناطق السكانية القريبة وتسبب مشاكل صحية. وبوجه عـــام فإن النظم الآلية تكون عالية التكاليف الإنشائية بينما تكون تكلفة العمالة قلـــيلة بالمقارنة لنظم الرش التى تحرك بواسطة العمال. وفى نظم الرى بالرش فإن

التسوية للتربة ضرورية وذلك لضمان تجانس توزيع المياه على سطح التربة . وتتأثر نظم الرى بالرش بدرجة أكبر من طرق الرى بالغمر بنوعية مياه الرى المستخدمة حيث أن المياه ذات النوعية الرديئة والملحية يمكن أن تؤدى إلى انسداد الرشاشات و احتراق الأوراق وسمية النباتات وأيضا ترسب الأملاح فى الأنابيب والصمامات ونظام التوزيع. ولذلك وجد أن المياه المعالجة ثانويا تنتج مياه مناسبة للتوزيع خلال الرشاشات بافتراض أن هذه المياه غير مالحة. بالإضافة إلى أنه يمكن اتخاذ بعض الاحتياطات المناسبة للتغلب على ذلك مثل استخدام مرشحات أو استخدام رشاشات ذات فتحات كبيرة (أكبر من 5mm).

IV. طرق الرى الموضعية خاصة عندما تكون سطح التربة مغطى بأغطية بلاستيكية (mulch) تكون أكثر كفاءة ويمكن أن تؤدى إلى إنتاج محصولى عالى كما أنها توفر حماية للعمال الزراعيين من أخطار التلوث المحتملة. فنظم الرى بالتنقيط على الرغم من أنها مكلفة فإنها تتطلب مياه ذات نوعية عالية لمنع انسداد المنقطات. ويوضح الجدول رقم (6-9) نوعية مياه الرى المطلوبة لمنع انسداد نظم الرى الموضعية فالمواد الصلبة والنمو البيولوجى يمكن أن يتسببا فى انسداد النقاطات ولكن ترشيح السائل الناتج من المعاملة الثانوية وغسيل الأنابيب تمنعان حدوث هذه المشكلة. نظام الرى بالفقاعات المستخدم فى الولايات المتحدة لدى الأشجار يجنبنا الحاجة إلى استخدام نقاطات ذات فتحات صغيرة ولكن تشغيل هذا النظام يحتاج إلى عناية خاصة لكى يعمل بنجاح.

ويتميز نظام الرى بالتنقيط عن أنظمة الرى الأخرى بمايلى:

١. زيادة نمو النباتات وارتفاع المحصول نتيجة الإمداد المثالى للماء والمغذيات والهواء فى منطقة الجذور.

٢. ارتفاع كفاءة الرى فلا تؤثر الرياح أو المجموع الخضرى على عملية الرى وقلة

المفقود من المياه عن طريق الصرف.

٣. تعرض العمال الزراعيين لمياه الصرف تكون أقل ما يمكن.

٤. إحتـــياجات طاقة قليلة فالرى بالتنقيط يتطلب ضغط مـــاء يتراوح بين 100– 300 k Pa (1-3 bar).

٥. عمالـــه قلـــيلة حيـــث يمكن تشغيله آليا لإضافة المياه والأسمدة معا أما عيوبه فتتـــلخص فى ارتفاع التكاليف الإنشائية بالإضافة إلى صلاحيته فى المحاصيل التى تزرع فقط على خطوط.

جدول رقم 6-8. تقييم طرق الرى الشائعة وأفضليتها للأستخدام مع مياه الصرف الصحى المعالجة

مقياس الأفضلية	رى بالخطوط Furrow Irrigation	رى Border Irrigation	رى بالرش Sprinkler Irrigation	رى بالتنقيط Drip Irrigation
١. ابتلال المجموع الخضرى وإحتراق الأوراق ممـــا يؤدى إلى انخفـــــاض المحصول	لا يوجد	قـــد تـــتأثر بعض الأوراق الســـفلية ولكنه لا تؤثر على المحصول	إتـــلاف كـــبير للأوراق يؤدى إلى خفـــض كـــبير للمحصول	لا يوجد
٢. تجمـــع الأملاح فى مـــنطقة الجذور عـــند تكـــرار الأستخدام	الأملاح تتجمع فى ridge ممـــا يمكن أن يؤثـــر عـــلى المحصول	تتحرك الأملاح إلى أســـفل ويستبعد تجمعهـــا فى منطقة الجذور	تحرك الأملاح إلى أســـفل ويستبعد تجمعهـــا فى منطقة الجذور	حـــركة الأملاح تكـــون فى اتجاه حـــركة المـــياه ويمكـــن تجمـــع الأمـــلاح بـــين المنقطات
٣. القـــدرة على الحفاظ على جهد ماء أرضى عالى	قد تتعرض النباتات لفترات جفاف بين الريات	قد تتعرض النباتات لفترات جفاف بين الريات	غـــير ممكن الحفاظ عـــلى جهـــد ماء أرضى عالى حول موسم النمو	يمكن الحفاظ على جهد ماء أرضى عـــالى خـــلال موســـم الـــنمو وخفـــض تـــأثير الملوحة

تابع جدول رقم 6-8.

٤. الملائمـــــة لاســتخدام مــياه صرف ملحية دون تأثر المحصول بدرجة كبيرة	متوسط ولكن مع الإدارة الجـــيدة والصـــرف يمكن الحصـــول عـــلى محصول جيد	متوسط وفى وجود الـــرى الجـــيد والصـــرف يمكن الحصـــول عـــلى محصول جيد	ضـــعيف-أقل من المتوســـط وأغلب المحاصيل تعانى من تلـــــف الأوراق وبالـــتالى المحصول ضعيف	ممـــتاز وَيمكن نمو جمـــيع المحاصيل دون أن يـــــتأثر المحصول الناتج

المصدر: Kandiah (1990).

جدول 6-9. العلاقة بين نوعية المياه وانسداد نظم الرى بالتنقيط

المشكلة المحتملة	الوحدة	محـــاذير الأستخـــدام		
		لا يوجد	قليلة إلى متوسطة	شديدة
طبيعية				
المواد الصلبة المعلقة	mg/l	< 50	50-100	> 100
كيميائية				
pH		< 7.0	7.0 – 8.0	> 8.0
مواد صلبة ذائبة	mg/l	< 500	500–2000	> 2000
منجنيز	mg/l	< 0.1	0.1–1.5	> 1.5
حديد	mg/l	< 0.1	0.1–1.5	> 1.5
كبريتيد الهيدروجين	mg/l	< 0.5	0.5–2.0	> 2.0
حيوية				
العد البكتيرى	أقصى عدد /مل	<10.000	10.000- 50000	>50,000

المصدر: Nakayama (1982).

الإدارة الحقلية عند استخدام مياه الصرف الصحى فى الرى

تلعـــب إدارة المـــياه والـــتربة والمحصول وطرق التشغيل شاملة المحاذير الواجب إنـــتاجها لحمايـــة العمال الزراعيين صحيا دوراً فى الاستخدام الناجح لمياه الصرف الصحى فى الرى.

إدارة الميـــــاه Water Management

تتراوح ملوحة مياه الصرف المعالجة بين 200–500 (Ec_w = 0.7 to 3.0 dS/m)

mg/l ومع ذلك فيوجد بعض الحالات التى تصل فيها الملوحة فى مياه الصرف الصحى المعالجـــة إلى مســـتوى 2000 mg/l. وفى جميع الأحوال فإن الإدارة الصحيحة للمياه يجب أن تتبع لمنع تملح التربة بغض النظر عن تركيز الأملاح فى مياه الصرف الصحى.

حيـــث مـــن الملاحظ أن استخدام مياه صرف صحى غير ملحية تحتوى على 200–500 mg/l فى الـــرى بمعـــدل $20.000\ m^3/ha$ يؤدى إلى إضافة 2.3 من أملاح ســـنويا إلى التربة ولذلك فعدم استخدام الاحتياجات الغسيلية لمنطقة الجذور لإزالتها مـــع نظـــام صـــرف جـــيد سوف يؤدى إلى زيادة ملوحة التربة بسرعة ولهذا فإن الاحتياجات الغسيلية والصرف يعتبر أهم عاملين فى إدارة المياه لمنع تملح التربة.

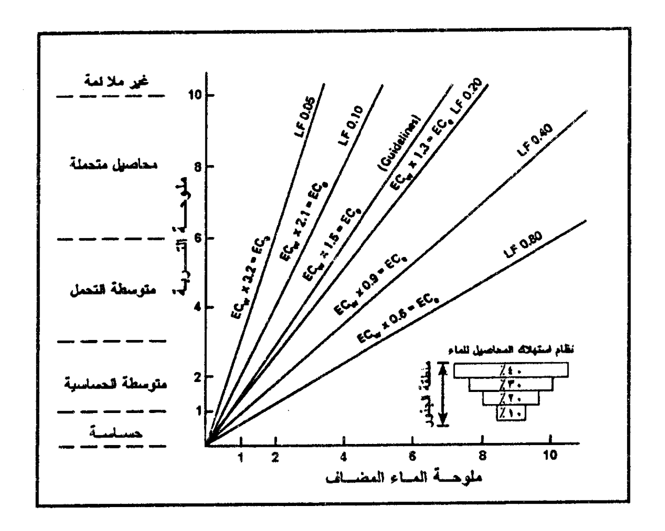
الغســـيل

الســـؤال المطـــروح الآن هو ماهى الاحتياجات الغسيلية ؟ لتقدير الاحتياجات الغســـيلية فإن كلا من ملوحة مياه الرى (EC_w) ودرجة تحمل المحصول لملوحة التربة (EC_e) يجـــب أن تكون معلومتين ويمكن تقدير الاحتياجات الغسيلية الضرورية. كما يمكن تقديرها بدقة لمحصول معين باستخدام المعادلة التالية:

$$LR = \frac{EC_w}{5(EC_e) - EC_w}$$

حيـــث:

- LR = الحـــد الأدنى من الاحتياجات الغسيلية المطلوبة للحد من الأملاح فى مدى تحمل المحصول للملوحة وذلك عند استخدام طرق الرى السطحية.
- EC_w = ملوحة ماء الرى بالـــ dS/m
- EC_e = متوســـط ملوحة التربة فى عجينه التربة المشبعة. وتعتبر قيم EC_e المتوقعة والمستخدمة بالحسابات هى تلك القيم التى تعطى 90% أو اكثر من المحصول الأعظم.



شكل رقم 6-2. العلاقة بين ملوحة ماء الرى وملوحة التربة عند احتياجات مائية مختلفة

والشكل رقم (2-6) تم عمله باستخدام قيم EC_e التى تعطى %90من المحصول. وبالنسبة للمياه فى مدى الملوحة المتوسط إلى العالية (>%5dS/m) فإن من الأفضل استخدام قيم EC_e التى تعطى المحصول الأعظم (100%) لأن عملية التحكم فى الملوحة هى عملية حرجه وضرورية للحصول على محصول عالى.

فى الأماكن التى تعانى من ندرة المياه وارتفاع سعرها فإن الاحتياجات الغسيلية يجب أن تستخدم بحيث نحصل على أعلى إنتاجية بالنسبة لوحدة المياه المستخدمة للوفاء بحاجة النبات الاستهلاكية وكذلك الاحتياجات الغسيلية.

وتنفيذ الاحتياجات الغسيلية بوجه عام يتوقف على درجة ملوحة التربة فيمكن تنفيذها عند كل ريه أو كل ريتين أو أقل أو كل موسم حسب الحاجة وذلك للحفاظ على ملوحة التربة أقل من الحد الحرج الذى عنده يتأثر المحصول. ويجب بوجه عام آخذ الأمطار فى الاعتبار عند تقدير الاحتياجات الغسيلية.

ويقترح الممارسات التالية لزيادة كفاءة الغسيل وخفض كميات المياه المستخدمة:

١. يفضل إجراء عملية الغسيل فى المواسم الباردة بدلا من المواسم الحارة وذلك لأن احتياجات المحصول المائية تكون أقل.

٢. يفضل استخدام المحاصيل المستحملة للأملاح والتى تتطلب أقل قدر من الاحتياجات الغسيلية.

٣. يفضل استخدام الحرث لخفض الجريان السطحى للماء وخفض عدد الشقوق فى التربة التى يمر الماء خلالها وتؤدى إلى خفض كفاءة عملية الغسيل.

٤. يفضل عند الرى بالرش استخدام معدل أقل من معدل التسرب فى التربة لأن هذا يؤدى إلى ظروف تربة غير مشبعة التى تعتبر أكثر كفاءة لعملية الغسيل من الظروف المشبعة.

٥. يفضل استخدام دورات غمر وتجفيف بالتناوب بدلا من استخدام الغمر بصورة مستمرة لأن ذلك يزيد من كفاءة عملية الغسيل ويخفض كميات المياه المستخدمة.

٦. يفضل إجراء عملية الغسيل فى الوقت الذى تكون فيه احتياجات المحصول المائية أقل ما يمكن أو تأجيلها إلى ما بعد الحصاد ما أمكن.

٧. تجنب ترك الأتربة بدون زراعة خاصة فى المواسم الصيفية الحارة وذلك لتجنب التمليح الثانوى للتربة خاصة إذا كان مستوى الماء الأرضى مرتفع.

٨. إضافة ريه واحدة قبل موسم المطر خاصة اذا كانت كمية الأمطار المتوقعة غير كافية للاحتياجات الغسيلية علما بأن الأمطار هى أكثر طرق الغسيل كفاءة وذلك لجودة نوعية مياه الأمطار وسقوطها بمعدلات منخفضة نسبيا.

الصرف Drainage

تصاحب مشاكل الملوحة فى المناطق الجافة وشبه الجافة دائما وجود مستوى ماء

أرضـــى مـــرتفع ودور الصرف فى هذه الحالات هو خفض مستوى الماء الأرضى إلى المســـتوى المطلـــوب، لمنع انتقال الأملاح إلى سطح التربة عن طريق الخاصية الشعرية والمحافظة على حركة الماء إلى أسفل.

والعامل الآخر الهام فى عملية الصرف هى القدرة على نقل كميات المرغوبة من مـــياه الصـــرف خارج منطقة الرى والتخلص منها بأمان. وعملية التخلص من مياه الصرف تعتبر عملية هامة جداً ويمكن أن تسبب مشكلة كبرى خاصة إذا كان مصدر مياه الرى هو ماء صرف صحى معالج.

وقـــت الرى Timing of Irrigation

للوفـــاء بالاحتياجات المائية للمحصول فإن زيادة عدد مرات الرى تكون أمراً مـــرغوبا فـــيه لأن ذلك يحد من درجة معاناة النبات من الجفاف وعلى الرغم من أن ذلـــك صحيحا من وجهة نظر إدارة المياه إلى أن هذا قد يؤدى إلى نتائج غير مرغوب فيها. فمثلا فى طرق الرى السطحية مثل الغمر فإن زيادة عدد مرات الرى يؤدى إلى زيادة كمية الماء الكلية المستخدمة وبالتالى تقل كفاءة الرى وتزيد كمية المياه المفقودة عن طريق الصرف.

إلا أن الأمر يختلف فى طرق الرى بالرش أو التنقيط حيث أن زيادة عدد مرات الـــرى واستخدام كميات قليلة من المياه فى كل مرة يمكن أن يؤدى إلى التغلب على مشـــكلة الملوحـــة المصاحبة دائما لمياه الرى الملحية. ويفضل رى التربة قبل الزراعة لسببين:

١. غســـيل الأملاح التى تكون قد تجمعت فى موسم النمو السابق بالإضافة إلى أن الرى يوفر للبذرة مهدا صالحا للنبات لا يحتوى على أملاح لأن مرحلة الإنبات هى أكثر مراحل نمو النباتات حساسية للأملاح.

٢. توفـــير الرطوبة الملائمة فى التربة والضرورية لإنبات البذور والشتلات. ورية ما

قبل الزراعة هو أمر شائع استخدامه لزارعى الخس والطماطم ومحاصيل الخضر. وتعتـــبر مياه الصرف الصحى المعالجة مصدر جيد لرية ما قبل الزراعة لأنها عادة تكون غير ملحية كما أن الخطورة الصحية تقريبا منعدمة.

خلط مياه الصرف الصحى مع مصادر مائية أخرى

يعتبر خلط مياه الصرف الصحى مع مياه الرى العادية (قنوات-ماء جوفى) أحد الخيارات المطروحة أمام المزارعين إذا ما توفرت هذه المصادر. ومن المحتمل أن يكون لـــدى المـــزارع ماء جوفى مالح وماء صرف صحى معالج ففى هذه الحالة يمكنه مزج مصدرى الماء للحصول على مياه ذات مستوى ملوحة مقبول. بالإضافة إلى أن الخلط يؤدى إلى زيادة نوعية المياه البكتيرية.

استخدام مياه الصرف الصحى بالتناوب مع مصادر مائية أخرى

يمكن أيضا استخدام مياه الصرف الصحى المعالجة فى حالة توافر مصادر أخرى بالتناوب مع مياه رى أخرى متوفرة (مياه قناة-ماء جوفى) بدلا من خلط المياه. ومن المعـــروف مـــن ناحـــية التحكم فى الملوحة فإن تناوب استخدام المياه المالحة مع مياه الصـــرف الصحى المعالجة يعتبر أفضل من خلط المياه. ومع ذلك فاستخدام التناوب يتطلب نظام رى خاص مزدوج قد يكون مكلفا.

إدارة التربـــة

يمكـــن استخدام ممارسات إدارة التربة للتغلب على مشاكل الملوحة والصودية والســـمية والأخطار الصحية التى تصاحب استخدام مياه الصرف الصحى المعالجة فى الرى.

تطـــور الأراضى

بعـــض ممارسات إدارة التربة يمكن التخطيط لاستخدامها وتنفيذها للتغلب على المشاكل المصاحبة لاستخدام مياه الصرف الصحى فى الرى وهذه الممارسات غالبا ما

تجـرى مـرة واحـدة لارتفاع تكلفتها . هذه الممارسات يكون الهدف منها تحسين ظـروف التربة لتسهيل استخدام مياه الصرف الصحى فى الزراعة. وهذه الممارسات تشـمل تسوية التربة إلى المستوى المرغوب فيه وإنشاء شبكة للمزرعة (نظام مفتوح وتحت سطحى)، الحرث العميق والغسيل لخفض ملوحة التربة.

تسـويـة التربة

وهـذه الممارسـة غاية فى الأهمية لضمان التوزيع المتساوى لمياه الرى فى الحقل بأكملـه وخاصة إذا كانت مياه الصرف المستخدمة ملحية وذلك لمنع تراكم الأملاح فى المـناطق العالـية لعدم حصولها على ماء الرى والغسيل وأيضا لمنع تراكم المياه فى المناطق المنخفضة.

ويوجد العديد من الطرق لتسوية التربة للميل المطلوب. ويختلف الميل باختلاف نظـام الـرى ومسافة جريان الماء ونوع التربة وشكل الحقل. وحديثا فإن تقنية ـ تسـوية الـتربة بأشعة Lazer أصبحت متاحة وهى تقنية يمكنها تسوية التربة بالدقة المطلوبة بغرض رفع كفاءة الرى ومنع تملح التربة.

الحـرث العميق

فى بعض المناطق تكون التربة مكونة من طبقات Stratified وهذه التربة يكون مـن الصعب ريها لأن طبقات الطين والطبقات غير المنفذة الصلبة فى هذه الأراضى تمـنع حـركة المياه خلال التربة وخلف منطقة الجذور وهذا بالتالى سوف يؤدى إلى تشبع منطقة الجذور وتجمع الأملاح فيها. ولذلك فإن استخدام الحرث العميق (تحت التربة) سوف يؤدى إلى تحسين كفاءة الرى وأيضا حركة المياه فى التربة. وتأثير عملية الحرث العميق قد يستمر لمدة خمس سنوات. والحرث العميق هو عملية مكلفة وعادة ما تتطلب زراعة محاصيل مستديمة بعد الحرث مباشرة ثم يتم تسويتها بعد ذلك للميل المرغوب فيه.

إدارة المحصول

إن الممارسات المستخدمة حاليا لإدارة المحصول تحت الظروف الملحية تعتبر جيدة ويجب استخدامها عند الرى بمياه الصرف الصحى. وتهدف هذه الممارسات إلى منع تدهور المحصول نتيجة تجمع الأملاح فى منطقة الجذور وأيضا يجب إضافة الأسمدة والمبيدات الزراعية بطريقة تناسب نوعية مياه الصرف والمحصول.

طريقة وضع البذور Placement of Seed

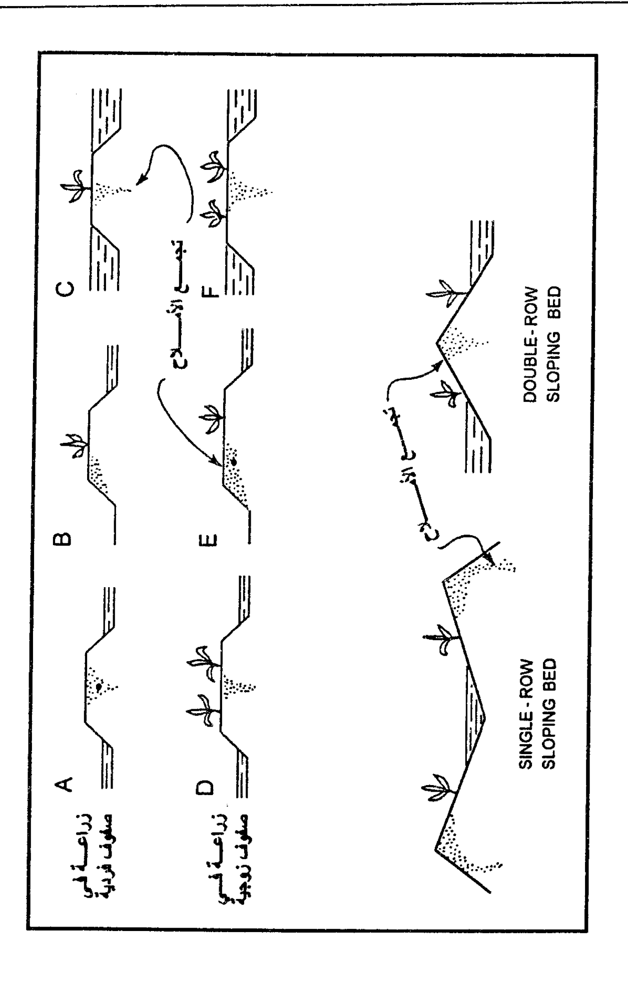
من المعروف أن مرحلة إنبات البذور هى أكثر مراحل نمو النبات تأثرا بالملوحة ويظهر هذا التأثير بوضوح فى المحاصيل المتزرعة على خطوط والمروية بمياه مالحة.

وذلك لأن حركة الماء تكون لأعلى حاملة الأملاح إلى السطح وترسبها. وغالبا ما يتواجد أكبر تركيز للأملاح فى منتصف الخط بينما يكون أقل تركيز للأملاح على جانبى الخط (شكل رقم) لذلك فإن الوسيلة الواجب أتباعها لضمان إنبات البذور هى وضعها فى الأماكن الأقل ملوحة. ولذلك فإن طريقة الزراعة وشكل الخط وإدارة الرى يمكن أن تؤدى إلى خفض الضرر بالبذور. ولذلك فإنه ينصح باتباع الممارسات التالية:

١. الزراعة على كتف الخط فى حالة استخدام ريشة واحدة أو على كتفى الخط فى حالة الزراعة على ريشتين.

٢. استخدام الخطوط المائلة مع زراعة البذرة على الجانب المائل (المنحدر) ولكن أعلى من خط جريان الماء.

٣. رى الخطوط بالتناوب حتى تتحرك الأملاح خلف الريشة المتزرعة به والبذرة وذلك فى حالة الزراعة على ريشة واحدة.

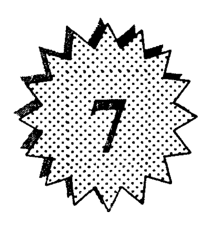


شكل رقم 3-6. رسم تخطيطى يوضح تجمع الأملاح وطرق وضع البذور فى الرى السطحى (خطوط)

الفصل السابع

إستخدام الحمأة فى الزراعة

- ❖ خواص الحمأة
- ❖ معالجة الحمأة
- ❖ إضافة الحمأة
- ❖ تأثير الحمأة على التربة والمحصول
- ❖ المحاذير الواجب مراعاتها عند الزراعة والحصاد والرى



استخدام الحمأة فى الزراعة

خواص الحمأة

ينتج من معالجة مياه الصرف الصحى كمية كبيرة من الحمأة التى يجب التخلص منها. فالمعالجة الثانوية للحمأة ينتج منها حمأة ابتدائية فى مرحلة الترسيب الابتدائى وحمأة ثانوية فى مرحلة الترسيب النهائية بعد انتهاء العمليات البيولوجية. وتختلف خواص الحمأة الثانوية باختلاف طريقة المعالجة البيولوجية وغالبا ما يتم خلطها مع الحمأة الابتدائية قبل معالجتها والتخلص منها. ويجدر الذكر أن نصف تكاليف معالجة مياه الصرف الصحى الثانوية تنفق على معالجة الحمأة والتخلص منها. ولذلك فإن استخدام الحمأة الخام أو المعالجة فى الزراعة يمكن أن يخفض كثيراً من تكاليف معالجة مياه الصرف الصحى ويمد العديد من المحاصيل بجزء كبير من احتياجاتها من العناصر الغذائية خاصة الفوسفور والنيتروجين.

نظام الصرف الصحى لا يقتصر فقط على مخلفات صرف المنازل وإنما يشمل مياه الصرف الصناعى ومياه الأمطار المتساقطة على الطرق ولذلك فإن الحمأة تحتوى بالإضافة إلى المخلفات العضوية العديد من الملوثات المستخدمة فى المجتمع المتحضر والتى قد تكون بعضها ساما للنبات والحيوان والإنسان ولذلك فإنه من الضرورى

التحكم فى تركيز هذه المواد فى التربة وأيضا فى معدل إضافة هذه المواد إلى التربة.

- تحتوى الحمأة أيضا على العديد من أنواع البكتريا الممرضة والفيروسات والبروتوزوا التى تمثل خطراً حقيقياً على صحة الإنسان والحيوان والنبات. تقرير هيئة الصحة العالمية (1981) WHO عن مخاطر الميكروبات الموجودة فى الحمأة المضافة إلى التربة على صحة الإنسان أعطى أهمية كبيرة لخطورة كل من السالمونيلا Salmonellae، والتينيا Taenia. ولكن إذا ما تم معالجة الحمأة بالطريقة الصحيحة قبل إضافتها إلى التربة فإن ذلك يمكن أن يخفض أعداد الميكروبات بدرجة كبيرة وبالتالى تخفض من المخاطر الصحية.

تحتوى الحمأة على تركيزات عالية من النيتروجين والفوسفور والمواد العضوية المقيدة علماً بأن حوالى 50% من الفوسفور الموجود فى الحمأة يصبح صالحا فى خلال سنة الإضافة أما نسبة النيتروجين فتتوقف على طريقة معالجة الحمأة. أما المادة العضوية فهى تعمل على تحسين خواص التربة من ناحية السعة الادمصاصية للماء وبناء التربة.

وبوجه عام فإن الحمأة قبل إضافتها يجب أن تخضع لقيود ورقابة مشددة من ناحية الدولة لمنع استخدام الحمأة فى الزراعة إلا بعد استيفاء المواصفات المطلوبة من ناحية:

- % المادة العضوية
- % المادة الجافة
- pH
- % النيتروجين الكلى والأمونيا
- % الفوسفور الكلى
- تركيزات Mo, Cr, Hg, pb, Cd , Zn, Fe, Se, As مادة جافة (mg/kg)

معالجة الحمأة

لاستخدام الحمأة فى الزراعة يجب معالجتها بيولوجيا أو كيميائيا أو حراريا

وذلـــك لخفض المخاطر الصحية التى قد تنجم عن استخدامها. ويوضح الجدول رقم (1-7) طرق معالجة الحمأة قبل استخدامها فى الزراعة.

جدول رقم 7-1. عمليات معالجة الحمأة

العمـــــلية	الوصـــــف
بسترة الحمأة Sludge pasteurization	تعريضها لدرجة حرارة 70°C لمدة لا تقل عن نصف ساعة أو لدرجة 55°C لـــدة لا تقـــل عن ٤ ساعات يعقبها هضم لا هوائى مبستر ومثيلى mesophilic anaerobic digestion .
هضم لا هوائى Mesophilic anaerobic digestion	هضم ابتدائى لمدة 12 يوما فى درجة حرارة تتراوح بين 35°C +/- 3°C أو لمدة 20 يوما فى درجة حرارة تتراوح بين 25°C +/- 3°C ثم تتبع ذلك مرحلة ثانوية لمدة 14 يوما.
هضم هوائى حرارى Thermophilic aerobic digestion	تعريض الحمأة لدرجة حرارة 55°C على الأقل لمدة ٤ ساعات ومدة الهضم لا تقل عن 7 أيام .
إضافة الجير إلى الحمأة السائلة	إضافة الجير لدفع pH الحمأة أعلى من 12 لفترة لا تقل عن ساعتين ثم يمكن استخدام الحمأة مباشرة بعد ذلك .
تخزين الحمأة سائلة Liquid storage	تخزين الحمأة السائلة غير المعالجة لفترة لا تقل عن ثلاثة شهور.
التخلص من الماء والتخزين Dewatering & storage	إضافة الجير أو مادة مجمعه إلى الحمأة غير المعالجة ثم تتبع ذلك إزالة الماء والتخزين لمدة لا تقل عن ثلاثة شهور أما اذا سبق تعرض الحمأة لعملية هضم لا هوائى فإن فترة التخزين تكون 14 يوما.
أكوام مهواه Composting (Aerated piles)	وضع الحمأة فى أكوام والمحافظة على درجة الحرارة داخلها 40°C لمدة 5 أيـــام وأيضا المحافظة على درجة الحرارة عند 55°C لمدة 4 ساعات ويعقب ذلك فترة للتأكد من اكتمال التفاعلات داخل الكومه.

Source: Dept of Environment

إضافة الحمأة Sludge Application

ويمكن تلخيص الأسباب التى تحد من استخدام الحماه فى الزراعة فيما يلى:

١. الحمـــأه تعتبر أسمدة مختلفة التركيب تحتوي على نسب قليلة من العناصر الصالحة للأمتصاص بواسطة النبات ولذلك يجب استخدامها بمعدلات عالية جدا بالمقارنة بالأسمدة الكيميائية وهذا بالضرورة يستلزم نفقات نقل باهظة خاصة إلى الأراضى

القريبة من المدن الكبرى.

٢. تركـيز العناصر الغذائية فى الحمأة تختلف حسب مصدرها وبالتالى فإن معدلات الإضافة المثلى لكل سماد من الصعب التنبؤ به.

٣. تحتوى الحمأة على أملاح ذائبة يمكن أن تسبب مشاكل عند استخدامها كأسمدة خاصـة فى الأراضـى التى يستخدم فيها الرى فى المناطق الجافة. وفى العديد من الأراضـى فإن الغسيل وما يتبعه من تلوث المياه الجوفيه بالعناصر الكبرى وخاصة النترات يعتبر عاملا محددا لإستخدام هذه المخلفات.

٤. تحـتوى الحمأه على عناصر ثقيلة تدمص على سطح حبيبات التربه وتتجمع إلى مسـتويات قد تكون سامه للنبات وبالتالى تضع قيود على نوع المحصول الممكن زراعـته نتيجة الخوف من تجمع هذه العناصر فى النبات إلى درجة تصبح معها هذه النباتات سامه للحيوانات وللإنسان وبالتالى تقلل من قيمة المحصول الناتج.

٥. تحـتوى الحمأة على بكتريا وفيروسات وطفيليات ممرضه تمثل خطرا صحيا على عمـال المـزرعة والمسـتهلكين لانتقالها خلال السلسلة الغذائية وتتوقف درجة الخطورة على طريقة معالجة الحمأة.

٦. طـرق إضـافة الحمأة غالبا ذات كفاءة منخفضة ومضيعه للوقت. فعند إضافة الحمـأة السـائلة إلى سطح التربه لابد وأن تترك فترة زمنية معينة وهذا الوقت المفقـود قـد ينتج عنه تأخير أعداد التربه للزراعة. أيضا إنتاج الحمأة والمخلفات العضـويه هى عملية مستمرة لا تتوقف فى حين أن الاحتياج للأسمدة هو إحتياج موسمى.

٧. الـروائح الكريهة المصاحبه الحمأة يجعل من الصعب على المستهلك أن يقتنع بأن إضـافة هـذه المخلفـات لا تمثل أضرار صحية عليه اذا ماتم إضافتها بالطريقة والمعدلات الصحيحة.

٨. والعقبة التى تقف أمام إستخدام الحمأة فى الإنتاج الزراعى هى أن هيئات حماية البيئه فى كثير من دول العالم تشترط مراقبة وفحص خواص صفات المحصول الناتج وكثير من المزارعين لا يرغبون فى دفع تكاليف المراقبة والفحص.

إقتراحات بشأن تشجيع إستخدام الحمأة فى الزراعة:

١. تحسين خواص وصفات المنتجات الزراعية المنتجة تحت نظام استخدام الحمأة لتنافس خواص وصفات المنتجات الزراعية الناتجة تحت نظام الأسمدة الكيميائية وهذا يستلزم نظام مراقبة جيد للأغذية الزراعية.

١. خفض تركيز العناصر الصغرى والأملاح فى المنتجات الزراعية المنتجة تحت نظام استخدام الحمأة ومياه الصرف الصحى ويمكن أن يتم ذلك عن طريق تحسين نظم جمع ومعاملة مياه الصرف الصحى ومراقبة محتواها من العناصر الصغرى خاصة عند المنبع وقبل أن تصل مياه الصرف الصناعى إلى نظام الصرف الصحى.

٢. تطوير نظم إدارة جديدة تؤدى إلى عدم تأخير تجهيز الأرض فى المزارع التى تستخدم مياه الصرف الصحى والحمأة من شأنه أن يعمل على اقبال المزارعين على استخدامه.

٣. وضع معدلات إضافة آمنه لاستخدام مياه الصرف الصحى والحمأة والمخلفات العضويه سوف يشجع على استخدامها. ويجب أن تكون معدلات الإضافة المقترحة مبنيه على حقائق وتؤكد الاستخدام الآمن الحمأة بدلا من أن تكون مبنيه فقط على القلق والخوف من تأثير استخدام المخلفات الضار على البيئه. فحاليا توجد العديد من الأسئلة التى تتعلق بإضافة مخلفات الحيوانات بمعدلات عالية مثل تأثيرها على صفات وكميات المحصول وتلوث المياه السطحية والجوفيه ولا يوجد لها إجابة شافية ومؤكدة حتى الآن.

ومخاطر إضافة الحمأة إلى التربه نوردها فيما يلى:

(أ) تلوث المجارى المائيه والبحيرات بالمواد العضويه

المشكلة البيئيه بالنسبة للحمأة عند وصولها للمجارى المائيه سواء بطريق مباشر أو غـــير مباشـــر بواسطة الجريان السطحى والغسيل هى تغير صفات وخواص المياه شاملة زيادة تركيز العناصر الغذائية بها والروائح الكريهة وتلوثها بالطفيليات.

ويـــتم تقويم المخلفات العضويه من ناحية مقدرتها على التلوث عن طريق تقدير الأكسجين الحيوى المستهلك BOD، الأكسجين الكيميائى المستهلك COD.

الأكسجين الحيوى المستهلك Biological Oxygen Demand (BOD)

وهـــو كمية الأكسجين المستهلكة بواسطة الكائنات الحية الدقيقة خلال عملية أكســـدة المادة العضويه فى فترة خمسة أيام ويعتبر مقياس للمواد القابلة للأكسدة. أما الأكسجين الكيميائى المستهلك Chemical Oxygen Demand (COD) فهو عبارة عـــن قـــياس المواد العضويه الكلية المؤكسدة ويقدر عن طريق أكسدة المواد العضويه باستخدام حمض الكبرتيك وداى كرومات البوتاسيوم وهذا المقياس يستخدم بصورة أقل من BOD.

ينتج عن أكسدة المادة العضويه انخفاض الأكسجين الذائب فى الماء بزيادة تحلل المـــادة العضويه فإذا كانت المخلفات العضويه التى يتم التخلص منها فى الماء لها قيمة BOD عالـــية فســـوف ينتج عن ذلك انخفاض محتوى الماء من الأكسجين لدرجة لا تكفـــى احتـــياجات الأسماك والكائنات الحية الأخرى وبالتالى يؤدى ذلك إلى موتها (يحتاج السمك إلى حوالى 5 جزء فى المليون من الأكسجين فى الماء لكى يعيش).

اذا كانـــت قـــيمة BODلـــلماء تساوى 1 جزء فى المليون (1 جزء فى المليون يستهلك خلال فترة خمسة أيام) فإن الماء يعتبر ذات صفات جيدة أما اذا كانت قيمة BOD للماء 5 جزء فى المليون أو أكثر فهذا يعنى أنه ماء غير نقى (ملوث).

وتعتبر المخلفات الحيوانيه ذات قيمة BOD عالية نسبيا بيّنما الحمأة المعامله لها قيمة BOD منخفضة نسبياً فقد تصل قيمة BOD لمخلفات الحيوانات فى ماء الجريان السطحى إلى 10,000 وهذا يتوقف بالطبع على مدى التخفيف وتحلل المواد العضويه فى المـــاء. أيضاً مخلفات الصناعات الغذائية لها قيمة BOD عالية ويرجع إنخفاض قيمة BOD للحمأة المعالجة إلى حدوث أكسدة للمواد العضويه خلال فترة المعالجة.

(ب) زيادة تركيز العناصر الثقيلة السامه فى التربه

يمكـــن أن تؤدى الإضافات المتتالية من الحمأة إلى التربه ولفترة طويلة إلى تجمع العناصر الثقيلة فى التربه وزيادة تركيزها إلى مستويات قد تكون سامه للنبات وبالتالى للحـــيوان والانســـان. والعناصـــر الثقيلة السامه تشمل النحاس والكادميوم والنيكل والـــزنك ويعتبر الكادميوم على وجه الخصوص سام للإنسان والحيوان ولذلك يجب الحـــرص عـــلى تجنـــب دخوله إلى السلسلة الغذائية إلا فى الحدود الآمنه. وكثير من العناصـــر فى الحمأة تكون مرتبطة بالمادة العضوية ويحدث لها تحرر عند تحللها وتصبح صالحة للأمتصاص بواسطة النبات.

وتخـــتلف محتويات الحمأة من العناصر الثقيلة تبعاً لمصدرها فهى تختلف فى المدن عـــنها فى القـــرى كمـــا أنها تختلف من مدينة لأخرى وهذا يتوقف على الصناعات الموجودة فى المدينة والتى تصب مياهها مع مياه الصرف الصحى ويوضح الجدول رقم (7-2) مدى متوسط تركيز بعض العناصر فى الحمأة من مواقع عدة.

جدول 7-2. مدى متوسط تركيز العناصر الثقيلة فى الحمأة

العنصر		عدد المواقع	المدى	المتوسط
			ug/g	
الزرنيخ	As	10	6 – 230	43
باريوم	Ba	60	21 – 8,980	576
كادميوم	Cd	115	4 – 846	101
كروم	Cr	119	17 – 99,000	3,280

تابع جدول 7-2.

زئبق	Hg	53	1 – 10,600	1,077
نيكل	Ni	109	10 – 3,515	-440
رصاص	Pb	116	13 – 19,730	1,656

ويوضـــح الجـــدول (7-3) مدى تركيز أربع عناصر فى الحمأة الناتجة من المدن الصناعية والمدن غير الصناعية.

جدول 7-3. تأثير مصدر الحمأة على مدى تركيز بعض العناصر الصغرى بها

العنصر		حمأة المدن الصناعية وغير الصناعية	حمأة المدن غير الصناعية
		ug/g	
الكادميوم	(Cd)	5 – 2,000	5 – 10
نحاس	(Cu)	250 – 17,000	250 – 1,000
نيكل	(Ni)	25 – 8,000	25 – 200
زنك	(Zn)	500 – 50,000	500 – 2,000

إضـــافة الحمأة المعالجة ثانويا (Digested) إلى التربه بمعدل 20 طن للهكتار لمدة 20 عامـــا يمكن أن يودى إلى رفع تركيز العناصر الصغرى بها تقريبا إلى الآتى (عمق الحرث):

CO	18 ug/g
Cu	180 ug/g
Cr	540 ug/g
Mn	90 ug/g
Pb	270 ug/g
Zn	890 ug/g

وتعتبر محاصيل الخضر أقل المحاصيل مقاومة لزيادة تركيز العناصر الثقيلة فى التربه بينما تكون محاصيل الأعلاف أكثرها مقاومة وتعتبر المحاصيل الحقلية مقاومة نسبياً وإن كانت درجة المقاومة تختلف من محصول لأخر ولذلك فإن استخدام الحمأة فى الزراعة لمدى طويل سوف يضع قيود على نوع المحصول الواجب زراعته.

يوجــد احــتمال قوى أن تؤثر مكونات الحمأة العضويه الذائبة فى الماء أو التى تكونت خلال تحللها على حركة العناصر الثقيلة خلال التربه وتؤدى إلى وصولها إلى المياه الجوفيه على صورة معقدات مخلبيه.

(ج) الملوثات الحيويه **Biological Pollutant**

تعتــبر الطفيليات من الملوثات الحيويه التى تصيب الإنسان والحيوان والحقيقة أن الطفيلــيات تموت عندما يتم أكسدة الحمأة بيولوجيا (المعاملة الثانوية) أو عندما تخزن فى أحــواض Lagoon ولذلــك فالحمأة المعالجة والمخزنة لا تمثل أخطارا صحية من ناحــية الطفيلــيات عند إضافتها للتربه . وتعتبر البكتريا مثل Echerichia Coli من الملوثــات الحــيويه وأن كانــت تتواجد طبيعيا فى أمعاء الفقاريات ولذلك فالنوعين Streptococci, Escherichia تستخدمان للدلاله على حدوث التلوث وللتعرف على أى كائنات حية دقيقة ممرضه يحتمل تواجدها.

ولقــد تم التعرف على أكثر من 70 نوع من الفيروسات فى الحمأة غير المعالجة والــتى غالبا ما توجد فى براز الإنسان وكان من المعتقد قديما أن أعداد الفيروس الذى يســببه يمكــن نقل المرض لابد أن يكون حوالى المليون ولكن ثبت حاليا أن فيروس واحد كافى لنقل المرض.

ايضــا يوجــد فى الحمأة غير المعالجة العديد من أنواع البكتريا الممرضه ولكن بتركــيزات منخفضــة ولذلك فيستخدم البكتريا من نوع Coli للتعرف على مدى تلــوث الوســط بالبكــتريا الممرضــه ويوضح الجدول التالى أعداد البكتريا Coli والفيروسات المحتمل تواجدهم فى الحمأه غير المعالجة.

	المــــدى
a. (CMPN/100ml) الكليهColiform	$1 \times 10^{6} - 100 \times 10^{6}$
b. (PFU/l) فيروس	200 - 7000

مقياس تركيز الفيروس

a. MPN = Most Probable Number
b. PFU = Plaque – forming unit

كمـــا يوجـــد فى الحمأة غير المعالجة البروتوزوا والديدان الممرضه ويعتبر البيض الخاص بهما مشكله لصعوبة التخلص منهم.

(د) زيادة تركيز العناصر الغذائية فى المياه السطحية والجوفيه

إضـــافة معـــدلات عالية من الحمأة إلى التربه يمكن أن يؤدى إلى زيادة تركيز العناصر الغذائية فى المياه السطحية والجوفيه.

ويوضح الجدول (7-4) محتوى الحمأة المعالجة ثانويا من العناصر الغذائية.

جدول 7-4. محتوى الحمأة المعالجة ثانويا (لا هوائيا)

العنصــــر	مدى التركيز	متوسط التركيز	
	%	%	كجم/طن
N عضوى	2 - 5	3	27
$NH_4 - N$	1 - 3	2	18
N الكلى	1 – 6	5	45
فوسفور (P)	6 – 8	3	27
بوتاسيوم (K)	0.1 – 0.7	0.4	4
كالسيوم (Ca)	1 – 8	3	27
مغنيسيوم (Mg)	2 – 5	1	9
كبريت (S)	0.3 – 1.5	0.9	8
حديد (Fe)	0.1 – 0.5	4	36
	Ug/g	**ug/g**	
صوديوم (Na)	800 – 4,000	2,000	2

تابع جدول 7-4.

زنك	(Zn)	50 – 50,000	5,000	5
نحاس	(Cu)	200 – 17,000	1,000	1
منجنيز	(Mn)	100 – 800	500	0.5
بورون	(B)	15 – 1,000	100	0.1

ويتضح من الجدول (7-4) إن إضافة 5cm من الحمأة المعالجة لا هوائيا (10% مادة صلبة) إلى الهكتار سوف يضيف الكميات التالية من العناصر الغذائية:

252 – 280 kg/ha $NH_4 - N$ وهذه الكمية يحدث لها نترته سريعة

336 kg /ha N عضوى

200 – 336 kg/ha فوسفور

45 – 90 kg /ha بوتاسيوم

والنترات الزائدة فى التربه بعد موسم النمو يحدث لها غسيل وتتحرك إلى المياه السطحية والجوفيه والجدير بالذكر أن زيادة تركيز NO_3 فى المياه ينتج من عدة مصادر شاملة إضافة الحمأة أو المخلفات الحيوانية ومخلفات الصناعات الغذائية، **Landfills** والمخلفات الصناعية وغيرها. وكل من المصادر السابقة تتسبب فى تلوث المياه بنسب مختلفة تبعا لظروف كل موقع. علما بأن تلوث المجارى المائيه بالنيتروجين يحدث بدرجة كبيرة عند إلقاء المخلفات العضويه والحمأة فى المجارى المائيه ويزداد التلوث بشدة بزيادة المعدلات التى يتم التخلص منها.

(هـ) الأملاح الذائبه Soluble Salts

تحتوى الحمأة على أملاح غير عضويه مثل البوتاسيوم والصوديوم والكاليسوم والمغنيسيوم ولذلك فإضافة معدلات عالية من الحمأة إلى التربه يؤدى إلى زيادة نسبة الأملاح بها إلى درجة يمكن أن تؤثر على المحصول. واحتمالات ارتفاع نسبة الأملاح فى التربه نتيجة إضافة الحمأة تزيد فى أراضى المناطق الجافة عنها فى أراضى المناطق

الرطبة لأن كمية الأملاح المضافة إلى التربه تزيد عن كمية الأملاح المغسولة من التربه بواسطة الأمطار والنتيجة هو تراكم الأملاح بهذه الأراضى.

يمكـــن إضافة الحمأة المعالجة إلى الأتربة بحيث لا يزيد تركيز العناصر السامة فى الـــتربة عـــن حد معين فى طبقة الاستزراع. ويوضح الجدول رقــــم (7-5) أقصى حـــدود مســـموح بها من تركيزات العناصر السامة نتيجة إضافة الحمأة المعالجة إلى الـــتربة. وبالنسبة لعناصر الزنك والنحاس والنيكل تختلف التركيزات المسموح بها فى الأتـــربة باختلاف درجة حموضة التربة لأنه من المعروف أن هذه العناصر تسبب سمية للنبات فى الأتربة الحمضية. ويوضح الجدول أيضا معدلات إضافة العناصر السامة إلى التربة كنتيجة لإضافة الحمأة فى فترة عشر سنوات.

جـــدول رقم 7-5. أقصى تركيز مسموح به من العناصر السامة فى التربة بعد إضافة الحمأة وأقصى معدل إضافة سنوى

العناصر السامة	أقصى تركيز مسموح به للعناصر السامة فى التربة (mg/kg dry solids)				أقصى معدل إضافة سنوى مسموح به لفترة عشر سنوات (kg//ha)[2]
	pH 5<5.5	pH 5.5< 6	pH 6 <7.0	pH >7.0	
زنك	200	250	30	450	15
نحاس	80	100	135	200	7.5
نيكل	50	60	75	110	3
كادميوم	3				0.15
رصاص	300				15
زئبق	1				0.1
كروم	400				15
موليبدنوم	4				0.2
سيلينيوم	3				0.15
ذرنيخ	50				0.7
فلوريد	500				20

١. الزيادة المسموح بها لتركيزات العناصر فى التربة التى يزيد درجة الحموضة فيها عن 7 تكون فقط للأتربة التى تحتوى على 5% كربونات كالسيوم.

٢. معدل الإضافة السنوى يقدر عن طريق متوسط الإضافة خلال عشر سنوات.

عند إضافة الحمأة إلى سطح التربة المتزرعة بالحشائش لرعى الحيوانات يجب تقدير العناصر المسببة للسمية فى عينات التربة المأخوذة على عمق 7.5 cm مع مراعاة أن لا يزيد تركيز هذه العناصر عن الحدود المذكورة فى جدول رقم (7-5) ولخفض تركيزات عناصر الرصاص والكادميوم والفلوريد المحتمل تناولها بواسطة حيوانات الرعى فإن إضافة هذه العناصر عن طريق الحمأة إلى سطح التربة يجب أن لا يزيد معدل إضافة الحمأة السنوى عن ثلاث أضعاف متوسط الإضافة السنوى المسموح به فى جدول (7-3). وبوجه عام فإن الحمأة المضافة إلى أتربة المراعى يجب أن لا يزيد محتواها عن 1200 mg/kg من الرصاص، 100 mg/kg فلوريد على أساس الوزن الجاف.

تأثير إضافة الحمأة على التربة والمحصول

إن العناصر المسببة للسمية الموجودة طبيعيا فى التربة عادة ما تكون أقل صلاحية من تلك العناصر التى تدخل إلى التربة عن طريق إضافة الحمأة . ولقد أظهرت الأبحاث أن تركيزات من عناصر الكادميوم والنيكل والنحاس والرصاص الناتجة عن إضافة الحمأة السائلة فى ثلاث مواقع مختلفة ظلت موجودة فى التربة بعد خمس سنوات من الإضافة ماعدا النحاس والزنك فى الأراضى الجيرية. أيضا هذه الأبحاث قدرت مدى انتقال هذه العناصر من الحمأة إلى الأوراق والجزء الذى يؤكل فى النبات وتأثير الإضافة على المحصول.

جدول رقم 7-6. أقصى حدود تركيز العناصر المسببة للسمية المسموح بها فى 7.5cm من التربة المتزرعة حشائش بعد إضافة الحمأة إليها

العناصر المسببة للسمية	أقصى تركيز مسموح به فى التربة (mg/kg dry solids)			
	pH 5.0 < 5.5	pH 505 < 6.0	pH 6.0 < 7.0	pH >7.0
زنك	330	420	500	750
نحاس	130	170	225	330

تابع جدول رقم 7-6.

نيكل	80	100	125	180
كادميوم	0.6			
رصاص	300			
زئبق	1.5			
مولينيديوم	4			
سيلينيوم	5			
زرنيخ	50			
فلوريد	500			
كروم	600			

Source: Dept. of Environment (1989)

ولقد أظهرت الأبحاث أن 60% من الحالات المدروسة لم يكن للحمأة أى تأثير معنوى على كمية المحصول ولكن فى 26% من الحالات أدى إضافة الحمأة السائلة إلى زيـادة معـنوية فى المحصول وقد عزيت هذه الزيادة إلى تأثير الحمأة على تحسين بناء الـتربة. أيضـا لوحظ انخفاض محصول حبوب القمح بحوالى 10% –6 فى الأراضى الطينـية والجيرية المضافة إليها الحمأة ولقد عزى سبب ذلك إلى رقاد النباتات الناجم عن زيادة المجموع الخضرى نتيجة تركيز النيتروجين الزائد فى التربة.

وزيـادة تركيز العناصر فى التربة نتيجة إضافة الحمأة أدى إلى زيادة معنوية فى تركـيز كل من الكادميوم والزنك والنحاس فى الجزء المأكول من النباتات المتزرعة. أمـا تركيز عنصر الرصاص فى أنسجة النباتات فلم يتغير نتيجة إضافة الحمأة ولذلك فيعـتقد أن الرصاص يكون فى صورة غير صالحة للامتصاص من التربة أيضا أظهرت الأبحاث أن صلاحية العناصر للنبات فى التربة المعالجة بالحمأة الجافة تكون أقل منها فى حالـة إضـافة الحمـأة على صورة سائلة. وبالرغم من ذلك فإن تركيزات النيكل والنحاس والزنك فى الأتربة المعالجة بمعدلات عالية من الحمأة السائلة أو الجافة كانت قريـبة مـن حدود التركيزات القصوى المسموح بتواجدها فى التربة بينما زاد تركيز الزنك عن الحد المسموح به.

المحاذير الواجب مراعاتها عند الزراعة والحصاد والرعى

حرصــا على صحة الإنسان والحيوان والنبات ولتفادى أى مخاطر صحية محتملة فإنه من الضرورى مراعاة وقت إضافة الحمأة المعالجة إلى التربة بالنسبة لمواعيد الزراعة والحصاد ورعى الحيوانات كما يلى:

١. يجب عدم إضافة الحمأة إلى محاصيل الخضر والفاكهة النامية فى الحقل أو النامية فى بيوت بلاستيكية وزجاجية.

٢. بالنســبة للــدول الأوروبية فالقانون يمنع إضافة الحمأة إلى التربة مباشرة وإنما حقنها فى أراضى المراعى مع منع الحيوانات من الرعى لمدة ثلاثة أسابيع.

٣. ويمكن إضافة الحمأة مباشرة بدون شروط إلى محاصيل الحبوب النامية.

٤. إضافة الحمأة إلى محاصيل الفاكهة قبل عشرة شهور من الحصاد.

٥. بالنســبة للــدول الأوروبية فالقانون يمنع إضافة الحمأة إلى التربة مباشرة وإنما حقنها فى أراضى المراعى مع منع الحيوانات من الرعى لمدة ثلاثة أسابيع.

٦. يجب عدم إضافة الحمأة إلى محاصيل الخضر والفاكهة النامية فى الحقل أو النامية فى بيوت بلاستيكية وزجاجية.

٧. بالنســبة للــدول الأوروبية فالقانون يمنع إضافة الحمأة إلى التربة مباشرة وإنما حقنها فى أراضى المراعى مع منع الحيوانات من الرعى لمدة ثلاثة أسابيع.

٨. ويمكن إضافة الحمأة مباشرة بدون شروط إلى محاصيل الحبوب النامية.

٩. إضافة الحمأة إلى محاصيل الفاكهة قبل عشرة شهور من الحصاد.

١٠. بالنســبة للــدول الأوروبية فالقانون يمنع إضافة الحمأة إلى التربة مباشرة وإنما حقنها فى أراضى المراعى مع منع الحيوانات من الرعى لمدة ثلاثة أسابيع.

١١. ويمكن إضافة الحمأة مباشرة بدون شروط إلى محاصيل الحبوب النامية.

١٢. إضافة الحمأة إلى محاصيل الفاكهة قبل عشرة شهور من الحصاد.

١٣. يمكـــن إضافة الحمأة بدون قيود إلى التربة قبل الزراعة وذلك لمحاصيل الحبوب والحشائش وبنجر السكر والفواكه غير الطرية.

١٤. إضـــافة الحمـــأة المعالجـــة إلى الـــتربة قبل الزراعة إلى التربة المخطط زراعتها خضـــروات بشـــرط أن تكون الفترة بين الإضافة إلى زمن الحصاد لا يقل عن عشرة شهور.

١٥. الحمأة المعالجة لا يمكن إضافتها إلى التربة قبل الزراعة فقط.

حمايـــة البيئـــة

عـــند إضافة الحمأة إلى الأراضى يجب منع أى تأثيرات سالبة على البيئة بأتباع التالى:

١. يجب الا تحتوى الحمأة على مواد غير قابلة للتحلل مثل البلاستيك.

٢. عـــربات نقل الحمأة من مشروع معالجة الحمأة إلى الأراضى لابد من اختيارها بدقـــة حتى لا تتساقط الحمأة فى الطرق المرصوفة كما أن هذه العربات يجب أن تكـــون مغلقة حتى لا يتطاير بعضها فى الهواء وتساقطها مما يمكن أن يؤدى إلى تلوث مجارى المياه وأيضا لمنع انتشار الروائح.

٣. أن تلـــوث البيئة قد ينشأ من تسرب الحمأة السائلة إلى قنوات الصرف ولذلك يجب مراعاة ذلك عند تقدير معدل إضافة الحمأة إلى التربة.

حساب معدل إضافة الحمأه للأراضى الزراعية

Calculating Application Rates of Sewage Sludge on Cropland

سوف نعطى هنا مثال لتوضيح كيفية حساب معدل إضافة الحمأه للأراضى الزراعية تبعا للقواعد التى تم شرحها سابقا وفى هذا المثال يتم الحساب على خمس خطوات هى:

١. مكونات الحمأة ومعلومات عن التربه.

٢. إحتياجات المحصول من العناصر الغذائية.

٣. تقدير معدل الإضافه السنوى للحمأه.

٤. تقدير معدل إضافات السماد الفوسفورى والنيتروجينى.

٥. تقدير الكمية الكلية المسموح بإضافتها من الحمأه وعدد السنوات.

وقبل أن نبدأ فى شرح الطريقة لابد من توافر المعلومات التالية:

١.بيانات عن مكونات الحمأه (Sewage sludge)

أ.النيتروجين الكلى (N)

ب.الأمونيوم ($NH_4 - N$)

ج.النترات ($NO_3 - N$)

د.الفوسفور (P)

هـ.البوتاسيوم (K)

و.الرصاص (Pb)

ث.الزنك (Zn)

ح.النحاس (Cu)

ت.النيكل (Ni)

ك.الكادميوم (Cd)

٢.بيانات عن التربه والمحصول

أ.الفوسفور الميسر والبوتاسيوم الميسر.

ب.توصيات الأسمدة بالنسبة للنيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم.

ج. درجة حموضة التربه (pH).

د.السعة التبادلية الكاتيونية للتربه.

القسم الأول : مكونات الحمأه ومعلومات عن التربه

مكونات الحمأه

النيتروجين الكلى	5 %
الأمونيوم	2 %
النترات	0 %
الفوسفور	2 %
البوتاسيوم	0.1 %
Zn	3000 ppm
Pb	500 ppm
Cu	1000 ppm
Ni	50 ppm
Cd	20 ppm

بيانات التربه

القوام	Loam
درجة الحموضه(pH)	6.5
الفوسفور الميسر	28 kg/ha
البوتاسيوم المتبادل	190 kg/ha
CEC	12 cmol/kg

القسم الثانى : إحتياجات المحصول من المغذيات

نوع النبات والمحصول لكل هكتار

ذره	10,000 kg/ha

العناصر الكبرى التى يحتاجها النبات لكل هكتار

N =	190.4 kg/ha
P_2O5 =	67.2 kg/ha
K_2O =	78.4 kg/ha

القسم الثالث : تقدير معدل الإضافه السنوى من الحمأه

١. حساب كميات صور النيتروجين المختلفة

أ. النسبة المئوية للنيتروجين العضوى

% النيتروجين العضوى = N % الكلى – % الأمونيوم – % النترات

% N العضوى = 0 – 2 – 5 = 3 %

ب . النيتروجين العضوى بالكجم/طن

النيتروجين العضوى = % النيتروجين العضوى × 1.82 =

= 1.82 × 3 = 5.46 kg N/Ton

ج. الأمونيوم بالكجم/طن

الأمونيوم بالكجم/طن = % أمونيوم × 9 =

= 2 × 9 = 18 كجم/طن

د. النترات بالكجم/طن

النترات بالكجم/طن = % للنترات × 9

= 0 × 0 = 0 كجم/طن

٢.حساب النيتروجين الصالح (الميسر) للنبات فى الحمأه

أ.فى حالة خلط الحمأه مع التربه

النيتروجين الصالح بالكم/طن = النيتروجين العضوى + الأمونيوم + النترات

= 5.46 + 18 + 0 = 23.5 كجم/طن

ب.الإضافه السطحية للحمأه (يفترض أن نصف الأمونيوم تفقد بالتطاير)

النيتروجين الصالح بالكجم/طن = $5.45 + \frac{18}{2} + 0 = 14.45$ كجم/طن

٣. تعديـــل توصـــيات الأسمدة النيتروجينيه بالأخذ فى الأعتبار النيتروجين المتبقى Residual N الناتج من الإضافه السابقه للحمأه لمدة ٣ سنوات.

0.46 × % organic N × tons sludge/acre = lbs residual N/acre
0.46 × % organic N × tons sludge/acre = lbs residual N/acre × 1.12
= kg residual N/ha

أ. الحمأه المضافه سابقا لمدة 1 عام

0.46 × 0 × 0 × 1.12 = 0 kg residual N/ha

ب. الحمأه المضافه سابقا لمدة 2 عام

0.46 × 0 × 0 × 1.12 = 0 kg residual N/ha

ج. الحمأه المضافه سابقا لمدة 3 سنوات

0.46 × 0 × 0 × 1.12 = 0 kg residual N/ha

د. النيتروجين المتبقى الكلى Total residual N

الخطوة أ + الخطوة ب + الخطوة جـ

0 + 0 + 0 = 0 كجم نيتروجين هكتار

هـ. تعديل الأحتياجات النيتروجينية

إحتياجات النبات كجم N /هكتار = إحتياجات النبات N/هكتار − النيتروجين المتبقى

كجم N/هكتار= 0 − 190.4 = 190.4

٤. حساب معدل إضافة الحمأه السنوى تبعا لإحتياجات المحصول من النيتروجين

$$\frac{\text{توصيات السماد المعدله نتيجة إضافة الحمأه سابقا}}{\text{النيتروجين الميسر للنبات فى الحمأه}}$$

أ. فى حالة الإضافه بالخلط Incorporation

$$\frac{190.4}{23.5} = 8.1 \text{ Ton sludge/ha}$$

ب . فى حالة الإضافه على السطح

$\frac{190.4}{14.45}$ = 13.2 Ton sludge/ha

٥.حساب معدل الإضافه السنوى للحمأه تبعا لحدود الكادميوم

أ. حساب محتوى الحمأه من الكادميوم لكل طن

ppm Cd × 0.001 = kg Cd/ ton of sludge

20 × 0.001 = 0.020 kg Cd/ton of sludge

ب. حساب كمية الحمأه الواجب إضافتها لتعطى 2 kg Cd/ha

2 kg Cd/ha ÷ kg Cd/ton = ton sludge/ha

2 kg Cd/ha ÷ 0.02 kg Cd/ton = 100 ton sludge/ha

٦. اختيار معدل الإضافه السنوى المثالى لكل هكتار

بصفة عامه يتم إختيار معدل الإضافه الأقل المحسوب من الخطوتين 4 , 5 .

أ. فى حالة خلط الحمأه بالتربه

8.1 ton sludge/ha

ب. فى حالة الإضافه السطحية

13.2 ton sludge/ha

القسم الرابع : حساب كميات الأسمدة النيتروجينية والفوسفاتية الواجب إضافتها

١. الفوسفور

أ. P_2O_5 الموجود فى الحمأه المضافه

Tons sludge/ha × % P × 45.8 × 1.12 = kg P_2O_5/ha

8.1 × 2 × 45.8 × 1.12 = 831 kg P_2O5/ha

ب. كمية السماد الفوسفاتى الواجب إضافتها

كمية السماد الواجب إضافتها kg P_2O_5/ha =

إحتياجات المحصول من الفوسفور – كمية الفوسفورالموجود فى الحمأه المضافه

= 67.2 - 831 - 764 kg P_2O_5/ha

عندما تكون الإجابه بالسالب فهذا يعنى عدم إضافة سماد

٢. البوتاسيوم

أ. K_2O الموجود فى الحمأه المضافه

Tons sludge/ha × % K × 24 × 1.12 = kg K_2O/ha

8.1 × 0.1 × 24 × 1.12 = 21.7

ب. كمية السماد البوتاسى الواجب إضافته

السماد البوتاسى الواجب إضافته =

احتياجات المحصول من البوتاسيوم - كمية البوتاسيوم الموجوده فى الحمأه المضافه

78.4 – 21.7 = 56.7 kg K_2O/ha

القسم الخامس : حساب الكمية الكلية المسموح إضافتها من الحمأه وعدد سنوات الإضافه

١. يتم حساب كميات الحمأه الواجب إضافتها للوصول إلى الحدود القصوى المسموح إضافتها من العناصر الصغرى (جدول 8-4) .

الكمية القصوى المسموح إضافتها (لكل هكتار)=

[الكمية القصوى المسموح إضافتها من العنصر ÷ (تركيز العنصر فى الحمأه × 0.001)]

Pb =	[1000 ÷ (500 × 0.001)]	= 2000	ton sludge/ha
Zn =	[500 ÷ (3000 × 0.001)]	= 166	ton sludge/ha
Cu =	[250 ÷ (1000 × 0.001)]	= 250	ton sludge/ha
Ni =	[100 ÷ (50 × 0.001)]	= 2000	ton sludge/ha
Cd =	[10 ÷ (20 × 0.001)]	= 500	ton sludge/ha

هنا أقصى كمية مسموح إضافتها هى 166 ton sludge/ha

٢. حساب أقصى عدد سنوات الإضافه

$$\text{عدد السنوات} = \frac{\text{أقصى كمية حمأه مسموح إضافتها للهكتار}}{\text{كمية الحمأه المضافه سنويا}}$$

أ. فى حالة الإضافه بالخلط incorportion

$$\text{عدد السنوات} = \frac{166}{8.1} = 20 \text{ سنة}$$

ب. فى حالة الإضافه السطحية

$$\text{عدد السنوات} = \frac{166}{13.2} = 12 \text{ سنة}$$



المراجـــــع

Abrol I.P. (1982). Technology of chemical, physical and biological amelioration of deteriorated soils. Panel of Deteriorated Soils in Egypt, 2-6 May 1982, Cairo.

Asano T. and Tchobanoglous G. (1987). Municipal waste water treatment and effluent utilization for irrigation. Paper prepared for the Land Water Development Division, FAO, Rome.

Asano T., Smith R.G. and Tchobanoglous G. (1985). Muncipal Waste Water : Treatment and Reclaimed Water Characteristics. Irrigation with reclaimel municipal waste water- A. Guidance Manual, G.S. Pettygrove and T. Asano (eds). Lewis publishers Inc. chelsea, Mississippi.

Chaney R.L., (1989). Toxic element accumulation in soils and crops : protecting soil fertility and agriculture food chains. In : Bar-Yosef, Barrow, Goldshmid (eds). Inorganic Contamination of the Vadose Zone Springer Ecol Stud 74: 140-158.

Cosgrove, W. J. and R.F. Rijsberman. 2000. World water vision. World Water Council, Earthscan publication, Ltd., UK.

Degremont, 1980. Water treatment handbook. Wiley, New York.

EAO. (1979). Yield response to water. J. Doorenbos and A.H. Kassam. Irrigation and Drainage paper 33. FAO, Rome.

Eliott, L.F., Stevenson, F.F (1977). Soils for management of organic wastes and waste waters. Soil Sci. Soc. Am, Madison, Wis.

FAO. (1988). Irrigation practice and water management. L.D. Doneen and D.W. Westcot. Irrgation and Drainage Paper 1, Rev. 1. FAO, Rome.

Franks, F. 1975. Water, A Comprehensive Treatise, Vol. 1, The Physics and Chemistry of Water. Plenum. Press, London.

Franks, F. 1979. Water, A. Comprehensive Treatise, vols. 1-6, Plenum Press, New York.

Fuller, W.H., and A.W. Warrick (1985). Soils in waste treatment and

utilization. Vol 1&2. CRC, Boca Raton.

Gross, J. M. an B. Weisell 1977. Principles of Physical Chemistry , Macdonald and Evans, Plymouth.

Hollick M. 1982. Water harvesting in the aridlands. Scientific Reviews on Arid Zone Research 1: 173-247. Scientific Publisher, Jodhpur, India.

Jain, J.K. 1977. Resource development in semi-arid lands, Phil. Trans. Roy. SOC., B 278, 437-617.

Jewell W.J., Madras J.J., Clarckson W.W., Delancgy-pompe H. and Kabrick R.M. (1983). Waste Water treatment with plants in nutrient films. Report PB 83-247-494, US. Environmental protection Agency, Ada, Oklahoma.

Locher, R.C., (1977). Land as a waste management altrenative. Science Publisher, Ann Arbor, London.

Logan T.J. and R.L. Chaney.(1983). Metals. In Utilization of Municipul Waste Water and Sludge on Land, Page, A.L. (Ed.) Univ. of California, Riverside.

Marra D.D. and Cairncross S. (1989). Guidelines for the Safe Use of Waste Water and excreta in agriculture and aquaculture-measures for public health protection. World health organization, Geneva.

Mass E.V. (1984). Salt Tolerance of plants. The Hand book of Plant Science in Agriculture. B. R. Christie (ed). CRC Press, Bo ca Raton, Florida.

Nakayama F.S. (1982). Water analysis and treatment techniques to control emitter plugging. Proc. Irrigation Association Conference, 21-24 Fed. 1982. Portland, Oregon.

Nationl Acadamy of Science (1972). Water quality criteria. U.S. Ervironmental Protection Agency, Washington DC Report No. EPA- R 373-033.

Nationl Water Commission (1973). Water policiec for the future (5248)- U.S. Government Printing Office. Washigtion, D.C. 20402 USA.

Page A.L., T.J. Logan and J.A. Rayan (eds) : (1987). Land application of Sludge, Food chain implications Lewis, Chelsea, pp 67-99.

Reddy K.R. and De Busk W.F. (1987). Nutrient storage capabilities of aquatic and wetland plants. Aquatic Plants for Water treatment and Resaurce Recovery. K.R. Reddy and W.H. Smith (eds). Magnolia Publishers, Orelando, Florida.

Saqqar M.M. and Pescod M.B. (1990). Microbiological performance of multi-stage stabilization ponds for effluent use in agriculture Wat. Sci. Tech. 23 : 1517-1524.

Seckler, D., R. Barker, and U. Amarasinghe , 1999. Water Scaricity in the Twenty-first Century. Water Resources Development 15: 29-42.

Shuval H.I., Adin A., Fattal B., Rawitz E. and Yekeutiel P. (1986). Waste

water irrigation in developing Countries : health effects and technical Solutions. Technical Paper No. 51. World Bank, Washington DC.

Strauss M. (1985). Pathogen survival, Part II. Health Aspects of Nightsoil and Sludge Use in Agriculture and Aquaculture, IRCWD Report No. 04/85. International Reference Centre for Waste disposal, Dubendorf, Switzeralnd.

Strauss M. and Blumenthal U.J. (1989). Human Waste Use in Agriculture and Aquaculture : utilization practices and health perspectives- IRCWD Report No. 08/89. International Reference Centre for Waste disposal, Dubendorf, Switzerland.

U.N. Department of Technical Cooperation for Development. (1985). The use of non convential water resources in developing countries. Natural water Resources No. 14 UN DTCD, New York.

WHO (1989). Health guidelines for the use of waste water in agriculture and aquaculture. Technical Peport No. 778. WHO, Geneva.

WRI, World Resources Institute-1994. A guide to the global environment. New York, Oxford: Oxford University Press.

* السيد أحمد الخطيب . ٢٠٠٠. تلوث الأراضى. منشأة المعارف. الإسكندرية. جمهورية مصر العربية.

* أحمـــد الســنجعاوى . ٢٠٠٠. تكنولوجيا معالجة الماء والصرف الصناعى. منشأة المعارف. الإسكندرية. جمهورية مصر العربية .

